

MÉTODO ESTIMATIVO
DA TEMPERATURA INTERNA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS EM USO

Ana Lígia Papst de Abreu

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD

Florianópolis, fevereiro de 2004.

MÉTODO ESTIMATIVO DA TEMPERATURA INTERNA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM USO

Ana Lúcia Papst de Abreu

Esta tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina, na área de concentração:
Construção Civil.

Florianópolis, 17 de fevereiro de 2004.

Prof^a Henriette Lebre La Rovere, PhD
Coordenadora do PPGEC - UFSC

Banca Examinadora

Prof. Roberto Lamberts
Orientador- Moderador
UFSC

Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki – Membro
UNICAMP

Prof. Dr. Maurício Roriz – Membro
UFSCar

Prof. Fernando O. R. Pereira, Ph.D. – Membro
UFSC

Prof. Dr. Saulo Güths – Membro
UFSC

Prof. Enedir Ghisi, Ph.D. – Membro
UFSC

Para meus pais, Albrecht e Sônia;

meu marido, Samuel;

e minha filha, Beatriz.

Agradecimentos

À Sociedade que propiciou a bolsa de estudos, e os equipamentos necessários à realização desta pesquisa

Ao Prof. Roberto Lamberts pela sua orientação.

Aos familiares por me ajudarem a cuidar da Beatriz.

A todos meus amigos que estiveram presente durante esta etapa da minha vida.

À amiga Eliane Dumke, quem me acompanhou nas visitas à Vila Tecnológica de Curitiba, e cedeu seus dados de medição do mestrado.

À Família Mazziero, que nos recebeu com carinho em sua casa em Curitiba.

Ao Samuel, a quem tenho dificuldades de enumerar tudo que devo e gostaria de agradecer.

Resumo

O presente trabalho apresenta um método simples para estimar a temperatura interna de residências a partir de temperaturas internas e externas medidas durante curtos períodos. Com as temperaturas estimadas pode se comparar o comportamento térmico de diversos ambientes, verificar se as temperaturas internas do ambiente atendem ao desempenho térmico previsto nas propostas de normas de conforto da ABNT, e até mesmo servir de base de dados para futuros aperfeiçoamentos nas normas.

Para desenvolvimento do método foram usadas as temperaturas medidas em oito ambientes de três residências de Florianópolis durante o período de abril de 1998 a março de 1999.

O método proposto serve para estimar a temperatura interna horária e temperatura média, máxima e mínima diárias. O primeiro passo é calcular a média móvel estatística da temperatura externa, e verificar a mais forte correlação com a temperatura interna. Depois, deve-se determinar através da análise de regressão uma equação da temperatura interna em função da temperatura externa. A relação empírica entre temperatura interna e temperatura externa apresenta diferentes valores nas constantes das equações obtidas por regressão, isto devido às diferenças construtivas e de uso dos ambientes estudados. Estas equações podem ser denominadas como sendo a “assinatura térmica” do ambiente, pois são a representação do comportamento térmico individual de cada ambiente diante do clima, das características construtivas e da ocupação.

Uma segunda medição de temperatura feita de 12/07/2002 a 25/09/2002 em duas das três residências foi usada para aferir o método proposto. Para determinar a incerteza do método proposto, as temperaturas internas medidas foram comparadas com as temperaturas estimadas. Utilizou-se para isso o RMSE, medida da diferença das temperaturas estimadas e temperaturas medidas, e também a faixa de ocorrência de 95% dos erros das estimativas. O RMSE máximo encontrado foi de 2,4°C e o mínimo foi de 0,4°C. Dos oito ambientes estudados, sete apresentaram a faixa de ocorrência de 95% dos erros entre -2,0°C e 2,0°C.

Para uma melhor comprovação da validade do método estimativo proposto, ele também foi aplicado utilizando temperaturas medidas em 14 moradias da Vila Tecnológica de Curitiba.

O método proposto nesta tese é simples de ser utilizado, mas é indicado para ambientes com pequena amplitude da temperatura interna. Porém erros são inerentes a qualquer método

estimativo, e o intervalo de incerteza aceitável dependerá da finalidade e do objeto de aplicação das temperaturas estimadas.

Palavras-chave: método estimativo da temperatura interna, assinatura térmica, avaliação do comportamento térmico de ambientes.

Abstract

This work suggests a method for estimative the internal temperature of houses. This method utilises internal and external temperatures measured over a short period of time. The estimated temperatures may then be used to compare the thermal behaviour of several rooms, and to verify if these temperatures correspond to standard, and provide a data base to improve such standards.

This method was developed using temperatures measured in eight internal rooms of three houses in Florianópolis, between abril/1998 and march/1999.

The present method estimates the internal hourly temperature, internal mean temperature, internal maximum temperature, and internal minimum temperature. The moving average of external temperature is correlated with the internal temperature, and it is necessary to find the highest correlation between them. Using regression analysis it is possible to find an equation to define the internal temperature trough the external temperature. This equation is the “thermal signature” of the room, because it represents the thermal behaviour of the room due to the climate, occupancy and construction characteristics.

A second set of measurements, collected between 12/07/2002 and 25/09/2002, was used to verify the proposed method. The measured temperatures were compared with the estimated temperatures using the RMSE, root mean square error, and the occurence of 95% of the estimate error. The maximum RMSE was 2,4°C and the minimum RMSE was 0,4°C. The frequency of 95% of the error occurred between $-2,0^{\circ}$ and $2,0^{\circ}$ C.

The proposed method was utilised in 14 popular houses in Curitiba.

The present method is easy to use, but it showed better results with rooms with a little variance of temperature.

Keywords: temperature estimate method, thermal signature, evaluatin of room thermal behaviour.

Lista de Figuras

- Figura 01. Exemplificação gráfica da delimitação das temperaturas internas para garantir condições mínimas de conforto segundo proposta de norma de conforto térmico da ABNT. _____ 21
- Figura 02. Exemplificação gráfica da “assinatura térmica” de um ambiente e sobre a delimitação das temperaturas internas para garantir condições mínimas de conforto segundo proposta de norma de conforto térmico da ABNT. _____ 25
- Figura 03. Distribuição de temperaturas horárias de três ambientes da residência C, temperatura externa e radiação solar durante quatro dias do mês de abril de 1998. _____ 54
- Figura 04. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência A com a média da temperatura externa de horas anteriores. _____ 55
- Figura 05. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência B com a média da temperatura externa de horas anteriores. _____ 56
- Figura 06. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência C com a média da temperatura externa de horas anteriores. _____ 56
- Figura 07. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência A com a média da radiação solar de horas anteriores. _____ 58
- Figura 08. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência B com a média da radiação solar de horas anteriores. _____ 59
- Figura 09. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência C com a média da radiação solar de horas anteriores. _____ 59
- Figura 10. Gráficos da temperatura interna horária do dormitório da residência B com a temperatura externa na mesma hora (a) e com a média da temperatura externa de 54 horas anteriores (b). _____ 61
- Figura 11. Gráficos da temperatura interna horária do escritório da residência C com a temperatura externa horária (a) e com a média da temperatura externa de 6 horas anteriores (b). _____ 62
- Figura 12. Gráfico de dispersão para comparação das equações estimativas com (a) e sem radiação solar (b) da temperatura interna horária do sótão da residência A, período de abril de 1998 a março de 1999. _____ 65
- Figura 13. Gráficos de distribuição das temperaturas horárias para comparação das equações estimativas com e sem radiação solar da temperatura interna horária do sótão da residência A, durante 10 dias em julho/1998 (a) e 10 dias em março/1999 (b). _____ 66
- Figura 14. Gráficos de distribuição das temperaturas horárias para comparação das equações estimativas com e sem radiação solar da temperatura interna horária do dormitório da residência B, durante 10 dias em julho/1998 (a) e 10 dias em março/1999 (b). _____ 66
- Figura 15. Gráfico de frequência da diferença entre a temperatura estimada, nas equações com e sem radiação solar, e a temperatura medida no sótão da residência A. _____ 67
- Figura 16. Retas de regressão mensais da temperatura interna horária do dormitório da residência B a partir da média da temperatura externa de horas anteriores. _____ 69
- Figura 17. Retas de regressão mensais da temperatura interna horária do escritório da residência C a partir da média da temperatura externa de horas anteriores. _____ 69
- Figura 18. Retas de regressão do dormitório da Residência B, usando dados de temperaturas horárias de um ano, dados de temperaturas horárias dos meses de abril e outubro, e dados das temperaturas horárias dos meses de maio e novembro. _____ 70

<i>Figura 19. Retas de regressão do escritório da Residência C, usando dados de temperaturas horárias de um ano, dados de temperaturas horárias dos meses de abril e outubro, e dados das temperaturas horárias dos meses de maio e novembro.</i>	71
<i>Figura 20. Distribuição da temperatura externa durante abril/1998 a março/1999 junto com as temperaturas máximas e mínimas dos dias típicos de verão e inverno de nível 10%.</i>	72
<i>Figura 21. Distribuição da temperatura externa durante os meses de junho a agosto de 1998 junto com as temperaturas máximas e mínimas do dia típico de inverno de nível 10%.</i>	73
<i>Figura 22. Distribuição da temperatura externa durante os meses de janeiro a março de 1999 junto com as temperaturas máximas e mínimas do dia típico de verão de nível 10%.</i>	73
<i>Figura 23. Retas de regressão do dormitório da Residência B, usando dados de temperaturas horárias de um ano, e dados de temperaturas horárias dos meses junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois.</i>	75
<i>Figura 24. Retas de regressão do escritório da Residência C, usando dados de temperaturas horárias de um ano, e dados de temperaturas horárias dos meses junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois.</i>	75
<i>Figura 25. Correlograma das temperaturas internas diárias: máxima, médias e mínimas, do Dormitório e do Sótão da Residência A com as médias das médias da temperatura externa de 1 a 14 dias anteriores.</i>	85
<i>Figura 26. Correlograma das temperaturas internas diárias: máximas, médias e mínimas, do Dormitório e da Cozinha da Residência B com as médias das médias da temperatura externa de 1 a 14 dias anteriores.</i>	85
<i>Figura 27. Correlograma das temperaturas internas diárias: máximas, médias e mínimas, do Dormitório 1, Dormitório 2, Dormitório 3 e do Escritório da Residência C com as médias das médias da temperatura externa de 1 a 14 dias anteriores.</i>	86
<i>Figura 28. Correlograma das temperaturas internas máximas diárias do Dormitório 3 e do Escritório da Residência C com a média das máximas da temperatura externa de 1 a 5 dias anteriores.</i>	87
<i>Figura 29. Gráfico de frequência das amplitudes diárias das temperaturas internas dos ambientes das residências A, B e C, durante o período de abril/1998 a março/1999.</i>	91
<i>Figura 30. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 1 da residência C.</i>	95
<i>Figura 31. Distribuição de temperaturas horárias medidas e estimadas no dormitório 1 da residência C no período de 21/09/2002 a 26/09/2002.</i>	96
<i>Figura 32. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório da residência B.</i>	97
<i>Figura 33. Distribuição de temperaturas horárias medidas e estimadas (equação julho+janeiro) no dormitório da residência B no período de 20/09/2002 a 25/09/2002.</i>	97
<i>Figura 34. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 2 da residência C.</i>	98
<i>Figura 35. Distribuição de temperaturas horárias medidas e estimadas (equação junho+janeiro) no dormitório 2 da residência C no período de 20/09/2002 a 25/09/2002.</i>	99
<i>Figura 36. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para a cozinha da residência B.</i>	104

- Figura 37. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas (pela equação junho+janeiro) na cozinha da residência B no período de 12/07/2002 a 26/09/2002. _____ 104
- Figura 38. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 3 (a) e o escritório (b) da residência C. _____ 105
- Figura 39. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas (pela equação junho+janeiro) no dormitório 3 (a) e no escritório (b) da residência C, no período de 12/07/2002 a 26/09/2002. _____ 106
- Figura 40. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas a partir da média das máximas da temperatura externa de dias anteriores e as temperaturas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 3 (a) e o escritório (b) da residência C. _____ 106
- Figura 41. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas (pela equação junho+janeiro a partir da média das máximas da temperatura externa de dias anteriores) no dormitório 3 (a) e no escritório (b) da residência C, no período de 12/07/2002 a 26/09/2002. _____ 107
- Figura 42. Distribuição da temperatura externa em Curitiba durante os dias 11/07/2000 a 11/08/2000 junto com a temperatura máxima e mínima do dia típico de inverno de nível 10%. _____ 111
- Figura 43. Distribuição da temperatura externa em Curitiba durante os dias 14/12/2000 a 10/01/2001 junto com a temperatura máxima e mínima do dia típico de verão de nível 10%. _____ 111
- Figura 44. Gráfico de dispersão das temperaturas horárias medidas com as temperaturas horárias estimadas nas moradias das construtoras Paineira (a) e Todeschini (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. _____ 114
- Figura 45. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas nas moradias das construtoras CHJ (a) e Kuerten (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. _____ 117
- Figura 46. Gráfico de dispersão das temperaturas médias medidas com as temperaturas máximas estimadas nas moradias das construtoras Andrade Gutierrez (a) e Todeschini (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. 117
- Figura 47. Gráfico de dispersão das temperaturas mínimas medidas com as temperaturas máximas estimadas nas moradias das construtoras Andrade Gutierrez (a) e Todeschini (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. _____ 118
- Figura 48. Fluxograma das etapas para estimar os modelos da temperatura horária interna, temperatura interna máxima, média e mínima diárias, propostos nesta tese. _____ 126
- Figura A1. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório e o sótão da residência A respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março/1999. _____ 139
- Figura A2. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório e a cozinha da residência B respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março 1999. _____ 141
- Figura A3. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório 1 e o dormitório 2 da residência C respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março/1999. _____ 143
- Figura A4. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório 3 e o escritório da residência C respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março/1999. _____ 143

<i>Figura B1. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório da residência A.</i>	146
<i>Figura B2. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o sótão da residência A.</i>	146
<i>Figura B3. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório da residência B.</i>	148
<i>Figura B4. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para a cozinha da residência B.</i>	149
<i>Figura B5. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 1 da residência C.</i>	151
<i>Figura B6. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 2 da residência C.</i>	152
<i>Figura B7. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 da residência C.</i>	153
<i>Figura B8. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o escritório da residência C.</i>	153
<i>Figura B9. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas (a partir da média das máximas da temperatura externa) e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 da residência C.</i>	155
<i>Figura B10. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas (a partir da média das máximas da temperatura externa) e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o escritório da residência C.</i>	156

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1. Valores derivados experimentalmente para a variável k_l.</i>	31
<i>Tabela 2. Valores derivados experimentalmente para a variável ΔT.</i>	31
<i>Tabela 3. Características construtivas, térmicas e de ocupação do Dormitório e do Sótão da Residência A.</i>	46
<i>Tabela 4. Características construtivas, térmicas e de ocupação do Dormitório e da Cozinha da Residência B.</i>	47
<i>Tabela 5. Características térmicas e construtivas do Dormitório 1, do Dormitório 2, do Dormitório 3 e do Escritório da Residência C.</i>	49
<i>Tabela 6. Sistemas Construtivos das moradias monitoradas na Vila Tecnológica - Curitiba/PR.</i>	51
<i>Tabela 7. Número de horas anteriores na qual foi estimada a média da temperatura externa e a média da radiação solar que apresentaram mais forte correlação com a temperatura horária interna.</i>	61
<i>Tabela 8. Equações de regressão por ambiente para determinação da temperatura interna usando como variáveis independentes a média da temperatura externa de horas anteriores T_{ehm} ($^{\circ}\text{C}$) e média da radiação solar de horas anteriores - Rad_{hm} (Wm^{-2}).</i>	64
<i>Tabela 9. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois - ambientes da Residência A.</i>	76
<i>Tabela 10. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois - ambientes da Residência B.</i>	77
<i>Tabela 11. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois – dormitório 1 e dormitório 2 da Residência C.</i>	79
<i>Tabela 12. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois – dormitório 3 e escritório da Residência C.</i>	80
<i>Tabela 13. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B e residência C.</i>	94
<i>Tabela 14. Faixa de ocorrência de 95%, em média, do erro estimativo das dez equações propostas para determinar as temperaturas horárias dos ambientes da residência B e da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.</i>	99
<i>Tabela 15. MBE e RMSE das temperaturas internas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas internas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B.</i>	100
<i>Tabela 16. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 no dormitório 1 e dormitório 2 da residência C.</i>	101
<i>Tabela 17. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 no dormitório 3 e escritório da residência C.</i>	102
<i>Tabela 18. Faixa de ocorrência de 95%, em média, do erro estimativo das dez equações propostas para determinar as temperaturas máximas, médias e mínimas, dos ambientes da residência B e da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.</i>	102
<i>Tabela 19. MBE e RMSE das temperaturas internas máximas estimadas a partir da temperatura máxima externa com relação às temperaturas internas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 no dormitório 3 e escritório da residência C.</i>	103

Tabela 20. Maior e menor valor de RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B e residência C. __ 108

Tabela 21. Maior e menor valor de RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas com relação às temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B e residência C. 109

Tabela 22. Equações de regressão por construtora da Vila Tecnológica de Curitiba para determinação da temperatura horária interna usando como variável independente a média da temperatura externa de horas anteriores T_{ehm} (°C). _____ 112

Tabela 23. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas, e faixa de ocorrência de 95% do erro estimativo das equações estimativas, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002 nas moradias da Vila Tecnológica. _____ 113

Tabela 24. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas no período de 03/08/2002 a 01/09/2002 nas moradias da Vila Tecnológica. _____ 116

Tabela 25. Faixa de ocorrência de 95% do erro estimativo das equações estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas, das 14 moradias da Vila Tecnológica de Curitiba, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. _____ 119

Tabela 26. Resultados de RMSE e MBE das temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas medidas no período de 03/08/2002 a 01/09/2002 da moradia da construtora Kuerten, MLC e Castellamare usando as equações estimativas de Givoni e as equações propostas no presente trabalho. ____ 120

Tabela 27. Faixa de ocorrência de 95% do erro estimativo das equações propostas por Givoni e o presente trabalho para as temperaturas máximas, médias e mínimas, das moradias das construtoras Kuerten, MLC e Castellamare, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. _____ 122

Tabela A1. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas pelas equações propostas com relação às temperaturas horárias medidas na residência A. _____ 138

Tabela A2. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas pelas equações propostas com relação às temperaturas horárias medidas para os ambientes da Residência B. _____ 140

Tabela A3. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas pelas equações propostas com relação às temperaturas horárias medidas. _____ 142

Tabela B1. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório e no Sótão da Residência A. ____ 145

Tabela B2. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório e na Cozinha da Residência B. __ 147

Tabela B3. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório 1 e no Dormitório 2 da Residência C. _____ 150

Tabela B4. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório 3 e no Escritório da Residência C. 150

Tabela B5. MBE e RMSE das temperaturas máximas estimadas (usando nas equações de regressão a médias das máximas da temperatura externa como variável independente) com relação às temperaturas máximas diárias medidas no Dormitório 3 e Escritório da Residência C. _____ 154

Tabela D1. Equações de regressão por ambiente da residência A das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias dos meses de junho, julho e agosto combinados com os meses de janeiro, fevereiro e março. _____ 165

Tabela D2. Equações de regressão por ambiente da residência B das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias dos meses de junho, julho e agosto combinados com os meses de janeiro, fevereiro e março. _____ 168

Tabela D3. Equações de regressão por ambiente da residência C das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias dos meses de junho, julho e agosto combinados com os meses de janeiro, fevereiro e março. _____ 171

Tabela E1. Número de dias anteriores usados para calcular a média das médias da temperatura externa (ou média das máximas da temperatura externa) que apresentaram a correlação mais forte com as temperaturas internas máximas, médias e mínimas, dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois. _____ 177

Tabela F1. Equações de regressão por construtora da Vila Tecnológica de Curitiba para determinação da temperatura interna máxima, média e mínima usando como variável independente a média da temperatura externa, ou a média das temperaturas externas máximas, ou a média das temperaturas externas mínimas T_{ehm} (°C). _____ 178

Sumário

1	<i>Introdução</i>	18
1.1	Justificativa	18
1.2	Motivação	24
1.3	Limitações	25
1.4	Objetivos	26
1.5	Hipótese	26
1.6	Estrutura do trabalho	26
2	<i>Revisão Bibliográfica</i>	28
2.1	Estimativa da temperatura de ambientes naturalmente ventilados com o mínimo de dados climáticos	28
2.2	Estimativa de dados climáticos	35
2.3	Análise Estatística: Séries Temporais	38
2.3.1	Média Móvel	39
2.3.2	Correlação e Correlogramas	40
2.4	Análise estatística: regressão	40
2.4.1	Coefficiente de Determinação – R^2	41
2.4.2	Teste F	41
2.4.3	Erro padrão	41
2.4.4	Teste t parcial de regressão	41
2.4.5	Valor P	42
2.5	Análise estatística: comparação entre valores teóricos e experimentais	42
2.6	Conclusão	43
3	<i>Caracterização dos ambientes monitorados</i>	44
3.1	Residências monitoradas em Florianópolis	45
3.1.1	Residência A	45
3.1.2	Residência B	47
3.1.3	Residência C	48
3.2	Residências monitoradas em Curitiba	50
4	<i>Desenvolvimento do método: estimativa da temperatura interna horária a partir da temperatura horária externa</i>	53

4.1	Correlação da temperatura interna com a temperatura externa e a radiação solar em base horária _____	53
4.2	Estimativa da temperatura interna em base horária _____	60
4.2.1	Estimativa da temperatura interna em base horária, com apenas dois períodos de medição ____	68
4.3	Conclusão do capítulo _____	81
5	<i>Desenvolvimento do método: Estimativa da temperatura interna máxima, média e mínima diária a partir da temperatura externa</i> _____	84
5.1	Correlação entre a temperatura máxima, média e mínima interna e a temperatura externa. _____	84
5.2	Análise de regressão para estimar as temperaturas internas máximas, médias e mínimas	87
5.2.1	Estimativa da temperatura interna máxima, mínima e média com apenas dois períodos de medição	88
5.3	Conclusão do capítulo _____	90
6	<i>Avaliação dos métodos de estimar a temperatura interna a partir da temperatura externa em duas residências em Florianópolis</i> _____	93
6.1	Aferição das equações estimativas das temperaturas internas horárias _____	93
6.2	Aferição das equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias _____	100
6.3	Conclusão da avaliação do método proposto nas duas residências em Florianópolis __	107
7	<i>Aplicação do método estimativo proposto para residências populares em Curitiba</i> _	110
7.1	Verificação da ocorrência de dia típico de inverno e verão _____	110
7.2	Determinação das equações estimativas das temperaturas internas horárias _____	112
7.2.1	Aferição das equações estimativas das temperaturas internas horárias _____	113
7.3	Determinação das equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias. _____	115
7.3.1	Aferição das equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias	115
7.4	Comparação do método apresentado por Givoni com o método proposto por esta tese	119
7.5	Considerações finais sobre o método proposto de estimar as temperaturas internas aplicado nas moradias em Curitiba _____	123

8	<i>Conclusões</i>	125
8.1	Estimativa das temperaturas horárias	128
8.2	Estimativa das temperaturas máximas, médias e mínimas	129
8.3	Aferição do método proposto	130
8.4	Aplicação do método em edificações da Vila Tecnológica de Curitiba	131
8.5	As limitações do método proposto	132
8.6	Sugestões para trabalhos futuros	133
<i>APÊNDICE A – Aferição das equações estimativas das temperaturas horárias usando as temperaturas medidas de abril de 1998 à março de 1999</i>		
		138
<i>APÊNDICE B – Aferição das equações estimativas das temperaturas diárias usando as temperaturas medidas de abril de 1998 à março de 1999.</i>		
		144
<i>APÊNDICE C – Resumo dos resultados das análises de regressão simples e multivariada da estimativa da temperatura horária dos oito ambientes estudados</i>		
		157
<i>APÊNDICE D – Tabelas com as equações de regressão das temperaturas diárias dos oito ambientes estudados</i>		
		165
<i>APÊNDICE E – Tabela com o número de dias anteriores usado para calcular a média da temperatura externa com mais forte correlação com as temperaturas internas diárias</i>		
		177
<i>APÊNDICE F – Tabela com as equações de regressão e os resultados estatísticos da estimativa das temperaturas internas diárias das moradias da Vila Tecnológica de Curitiba / PR.</i>		
		178

1 Introdução

1.1 Justificativa

A verificação do comportamento térmico de um ambiente pode ser feita de duas formas: através de medições ou através de modelos matemáticos. Os modelos matemáticos podem ser teóricos ou derivados de dados experimentais.

As vantagens da utilização de modelos matemáticos para verificação do desempenho térmico são: (1) rapidez dos resultados; (2) possibilidade de análises paramétricas e (3) verificação de possíveis problemas antes da execução do projeto, permitindo alterar critérios construtivos para melhorar a eficiência energética e conforto dos ocupantes. As desvantagens dos modelos matemáticos podem estar associadas aos seguintes aspectos: (1) os dados do arquivo climático serem medidos em aeroportos e estações meteorológicas (muitas vezes não representam o micro-clima onde a edificação está inserida); (2) tanto o ano climático TRY (Test Reference Year) quanto o ano climático TMY (Typical Meteorological Year) utilizados para simulações, são dados de temperaturas de períodos amenos; (3) a maioria dos modelos teóricos não considera a influência da umidade do ar nos cálculos de transferências de calor; (4) à falta de conhecimento preciso das propriedades termo-físicas dos elementos construtivos do Brasil e por isso adota-se valores de pesquisas feitas em outros países; (5) à necessidade de aferição dos resultados obtidos com dados medidos, pois diferentes códigos computacionais analisando o desempenho térmico da mesma edificação, podem apresentar diferenças nos resultados finais. Estas diferenças ocorrem pelas simplificações adotadas, e/ou pela metodologia do cálculo de transferência de calor utilizada, e/ou pela influência da umidade do ar na transferência de calor ser desconsiderada. As diferenças entre resultados obtidos por modelos matemáticos e dados medidos aumentam em ambientes em uso, por causa das incertezas nas intervenções dos usuários no gerenciamento e na ocupação do ambiente.

O clima é o principal fator que influencia o comportamento térmico de um ambiente. Para poder avaliar o comportamento térmico é necessário avaliar o ambiente frente às diferenças sazonais do local. Em locais onde a variabilidade climática anual é pequena, uma avaliação de um curto espaço de tempo pode ser representativa do ano como um todo. Mas em locais onde as quatro estações do ano são bem definidas, ou onde ocorrem freqüentes entradas de frentes frias durante o ano, ou onde ocorrem dias quentes no inverno, a avaliação do comportamento

térmico deve levar em consideração estas variações climáticas. Para um ambiente sujeito a essas variações climáticas, as desvantagens da verificação do comportamento térmico através de medições no local são: (1) necessidade de um período mínimo de um ano de dados medidos; (2) utilização de equipamentos de aquisição de dados que podem atrapalhar o ambiente quando em uso. As vantagens de obter dados de medições são: (1) a temperatura medida sofre a influência da umidade do ar (calor latente); (2) os dados medidos representam a real influência dos ocupantes e do clima sobre o comportamento térmico da edificação; (3) as temperaturas internas medidas são resultantes das trocas térmicas com o solo, do microclima local, ganhos e perdas de calor pela cobertura e fechamentos laterais, sombreamento parcial das aberturas e fechamentos opacos, ou seja, as temperaturas são o resultado final do calor absorvido e liberado pelo ambiente.

As medições podem ser feitas em ambientes em uso ou desocupados. As medições em ambientes desocupados não demonstram os ajustes que o usuário faz para melhorar sua sensação de conforto. Estes ajustes em ambientes não climatizados podem ser: abrir ou fechar janelas para aumentar ou diminuir a velocidade do ar dentro do ambiente, ou aumentar o número de trocas de renovação do ar interno; e abrir ou fechar cortinas e venezianas. Outras possibilidades de melhorar a sensação térmica em ambientes não climatizados (que não influenciam na temperatura do ar) são a mudança de roupa para aumentar ou diminuir a resistência térmica no corpo, e se for possível, mudança da atividade desenvolvida para aumentar ou diminuir o metabolismo. Por estes motivos, o ideal é trabalhar com dados de medição de temperatura em ambientes em uso para avaliação da interferência dos usuários sobre o comportamento térmico de ambientes.

E para que serve a medição do comportamento térmico de ambientes já construídos? Para chegar à resposta é preciso primeiro contextualizar as normas de conforto térmico.

A normalização do conforto térmico em edificações está se iniciando no Brasil. Em países desenvolvidos existem normas para a fase de projeto, e após a construção o ambiente ainda passa por avaliações pós-ocupação para verificar se as necessidades dos usuários estão sendo atendidas.

A verificação se as condições térmicas internas estão respeitando o que é proposto pelas normas, pode ser determinada por cálculos ou medições no local, enquanto avaliações pós-ocupação são feitas somente por medições e observações no local.

No Brasil as propostas de normas buscam definir critérios de desempenho à edificação como um todo, levando em consideração o desempenho estrutural, a segurança contra incêndio, a estanqueidade, o desempenho térmico, o desempenho acústico, o desempenho lumínico, a acessibilidade, entre outros. Com relação ao desempenho térmico, a proposta de norma estabelece procedimentos de avaliação da habitação para garantir condições mínimas de conforto. A proposta de norma Desempenho de Edifício Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2002a) define três procedimentos para a avaliação da adequação da habitação: (1) determina quais são as características termo-físicas dos elementos construtivos, área de aberturas, sombreamento e estratégias de condicionamento térmico passivo; (2) simulação computacional do desempenho térmico (mas não define quais códigos computacionais que podem ser utilizados); (3) medição da temperatura em edificações ou protótipos construídos, seguindo as normas da ISO 7726. Os requisitos que devem ser respeitados no verão são que as condições de conforto térmico dentro da edificação não devem ser piores do que as do ambiente externo à sombra. O critério mínimo do desempenho térmico no verão é que ambientes de permanência prolongada não devem ter a temperatura máxima interna superior a temperatura máxima externa. O critério dito suficiente (excede o critério mínimo, mas não é obrigatório) é que as habitações no Brasil deveriam ter temperatura interna máxima de 28°C na zona bioclimática 8 (ABNT, 2003b) e de no máximo 29°C nas zonas bioclimáticas 1 a 7 (ABNT, 2003b). A zona bioclimática 8 abrange a região norte e o litoral do nordeste, mas na proposta de norma não é explicado o porque desta distinção no valor da temperatura máxima interna para esta zona bioclimática. Com relação aos critérios mínimos de desempenho térmico para o inverno os valores da temperatura mínima interna são valores superiores a 12°C, e valores suficientes são valores da temperatura interna mínima de 17°C. Nos locais mais frios do Brasil (zonas bioclimáticas 1 e 2 – ABNT, 1998) o critério da temperatura mínima deve ser verificado adicionando-se uma fonte de calor de 1000W. A proposta de norma não define se é por 1m² que se deve adicionar a fonte de calor de 1000W. A Figura 01 exemplifica a região limite de temperaturas internas para garantir as condições mínimas de conforto.

A proposta de norma (ABNT, 2002a) ainda define os procedimentos para avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional e por meio de medições. Na avaliação por simulação deve-se utilizar os dias típicos de projeto de verão e inverno. Quando da inexistência dos dados climáticos da cidade, deve-se utilizar os dados climáticos da cidade mais próxima, dentro da mesma zona bioclimática e com altitude de mesma ordem de

grandeza. A norma também define que a avaliação térmica deveria ser nas unidades habitacionais com pior orientação solar. A norma não define quais métodos computacionais que deveriam ou não serem adotados. Com isto, a utilização de um método computacional pode ser escolhido em função do seu resultado ser mais conveniente que o resultado de outro.

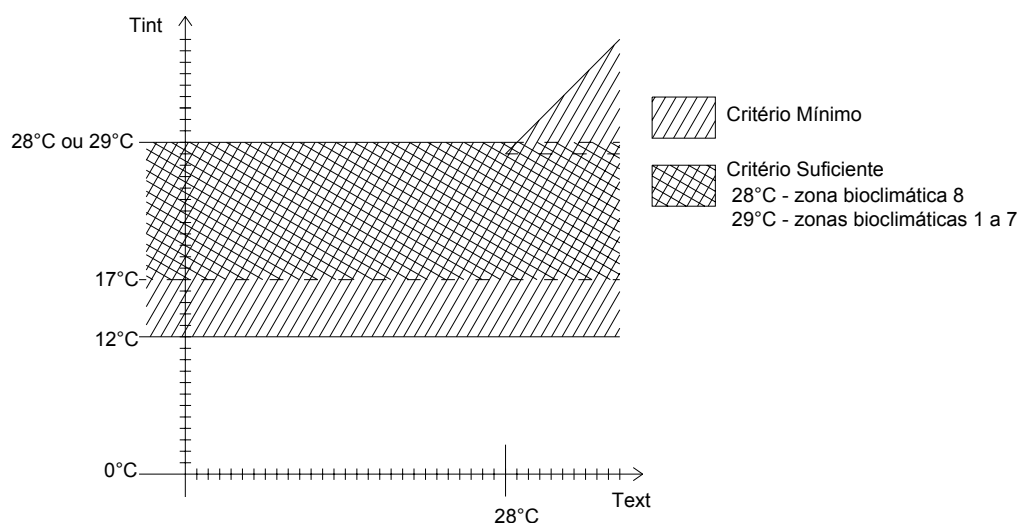


Figura 01. Exemplificação gráfica da delimitação das temperaturas internas para garantir condições mínimas de conforto segundo proposta de norma de conforto térmico da ABNT.

Nos procedimentos para avaliação do desempenho térmico por meio de medições (ABNT, 2002a) deve-se selecionar as unidades habitacionais mais representativas do local avaliado, e que sejam os piores casos. Depois deveriam ser simulados todos os recintos da unidade habitacional, sendo que as propriedades térmicas dos elementos construtivos devem ser determinadas pelos métodos indicados pela ABNT. Neste mesmo texto é definido o período de medição de três dias e recomendado analisar os dados do terceiro dia, sendo que o dia utilizado para análise deve corresponder a um dia típico (de verão e de inverno), precedido por um dia com características semelhantes. O dia típico é caracterizado pelos valores da temperatura do ar externo medido no local.

As propostas de norma (ABNT, 2002 a, b, c) sugerem a medição da temperatura em dias típicos e em edificações sem ocupação. Uma das dificuldades é conseguir fazer a medição só em dias típicos de verão e inverno, e conseguir uma seqüência de dois dias típicos. Os dados resultantes da medição de edificações desocupadas podem ser aprovados segundo os critérios

da norma, mas podem não mais obedecer à norma após a ocupação. Da mesma forma, edificações que não seriam aprovadas quando desocupadas, com um gerenciamento correto do ambiente pelos ocupantes, podem se tornar confortáveis. Por este motivo, o ideal é fazer a medição das temperaturas nos ambientes em uso.

A utilização de apenas dias típicos para avaliação térmica pode ser severa dependendo do valor das temperaturas do dia típico. O ideal seria a verificação do desempenho térmico do ambiente frente ao clima externo durante todo um ano, e assim verificar quanto tempo este ambiente está fora dos critérios estabelecidos pela norma. O desconforto por calor pode ser amenizado com o aumento da velocidade do ar interno (ventilador por exemplo), e o desconforto por frio pode ser amenizado pelo aumento na resistência térmica da roupa, ou por um maior ganho de calor interno.

No Brasil, a falta de obrigatoriedade de avaliações pós-ocupação leva a repetição de soluções construtivas que podem ser insatisfatórias aos usuários. Por isso, medições em ambientes após a sua ocupação, servem tanto para verificar se a norma está sendo respeitada, quanto de base de dados para avaliação e futuras implementações nas normas.

A proposta de norma da ABNT (2002a) define os critérios de desempenho térmico que podem ser adotados em avaliações pós-ocupação. O critério de desempenho da norma leva em consideração somente a temperatura do ar, apesar da mesma não ser o único parâmetro para conforto térmico.

Definir os limites de conforto térmico, ou de não desconforto térmico, é tema de diversas pesquisas, que geraram diferentes índices para avaliação do conforto em função do clima. De maneira geral, o conforto térmico humano é dependente de quatro variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar e radiação; e duas variáveis pessoais: isolamento térmico da roupa e atividade desempenhada. Olgyay e Olgyay (1973) foram os primeiros pesquisadores a relacionar o clima ao conforto em maneira gráfica. Os irmãos Olgyay relacionaram a temperatura e a umidade num gráfico, e delimitaram a zona de conforto, e as zonas de necessidade de ganhos térmicos solares, e de movimento do ar, para que pessoas vestindo um terno completo em atividade sedentária estivessem em conforto. Docherty e Szokolay (1999) comentam que existem índices de conforto que levam em consideração além das quatro variáveis ambientais, o tipo de atividade e a roupa que a pessoa está usando (PMV- Voto Médio Predito, DISC – Índice de desconforto, TS – Índice de

Sensação Térmica, ITS – Índice de Stress Térmico, entre outros), outros levam em consideração apenas temperatura do ar, umidade e movimento do ar (RT – Temperatura resultante, ECI – Índice de conforto equatorial, entre outros), outros só levam em consideração a temperatura do ar e a umidade (WBT, temperatura de bulbo úmido, THI – Índice Temperatura-Umidade).

Existe uma concordância entre pesquisadores de conforto térmico, que próximo das condições de conforto, a melhor medida para determinar a sensação térmica é a temperatura do ar, dentro de uma ampla faixa de umidade (SZOKOLAY, 1999). A variação da sensação térmica para uma pessoa em atividade sedentária é mais fortemente influenciada pela variação da temperatura do ar. A utilização do índice PMV (Voto Médio Predito) demonstra isso, o aumento de 1K na temperatura do ar ou na temperatura radiante média corresponde a um aumento de 0,1 no índice PMV, enquanto o aumento de 50% na umidade relativa (de 50% para 100%), o índice PMV aumenta 0,2.

Xavier (1999) verificou, em um edifício escolar não condicionado na região de Florianópolis - SC, que a sensação de conforto dos estudantes é praticamente dependente da temperatura operativa (temperatura uniforme de um ambiente com comportamento de corpo negro imaginário, no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme). Este pesquisador observou que existe similaridade nos limites da zona de conforto em função da temperatura operativa e da temperatura do ar, e comenta que a temperatura do ar pode ser usada para determinar a sensação térmica em ambientes onde não exista nenhuma fonte de calor radiante atuando sobre a pessoa.

Segundo Evans (2000) a variação da temperatura tem três vezes mais importância no conforto do que a umidade e a velocidade do ar. Drysdale (apud SZOKOLAY, 1999) comenta que até 27°C a temperatura do ar é a melhor medida de avaliação de conforto, e acima deste valor, a umidade deve ser considerada, adicionando-se 1 K para cada aumento de 10% na umidade relativa acima de 40%.

A avaliação de conforto térmico é subjetiva, pois lida com sensações térmicas de seres humanos. Só a temperatura do ar pode não ser suficiente para avaliação do conforto térmico, mas é a variável de maior peso na determinação do conforto. Por isso pode-se utilizar a

temperatura como parâmetro para comparação do desempenho térmico de ambientes naturalmente ventilados.

1.2 Motivação

Cada ambiente de uma edificação tem um comportamento térmico devido à sua orientação, localização, elementos construtivos, área de aberturas, ganhos térmicos, ocupação, gerenciamento do ambiente e o clima externo. A idéia do presente trabalho é propor um modelo simples que represente a “assinatura térmica” de cada ambiente, onde a assinatura térmica é a representação do comportamento térmico deste ambiente diante de todos os elementos que o influenciam. Mas como definir o comportamento térmico de um ambiente? Qual é o período necessário para determinar o comportamento térmico de um ambiente sujeito a uma variabilidade climática?

Givoni (1994) propôs uma fórmula preditiva experimental para a temperatura interna máxima. Ele observou que a temperatura interna máxima tinha uma forte correlação com a temperatura média externa em dois protótipos sem ocupação. A fórmula é expressa matematicamente com duas variáveis que representam as características construtivas, e duas variáveis da temperatura externa, uma temperatura média do período e a temperatura média diária. Através desta fórmula é possível estimar as temperaturas internas máximas diárias durante um ano destes dois protótipos.

Três pontos observados na proposta feita por Givoni (1994) motivaram o presente trabalho: a não definição do tempo necessário para aquisição de dados para calcular a temperatura média do período; a não utilização de dados medidos em ambientes em uso; e o fato de ter sido considerado que a temperatura interna é função da temperatura média do período em vez de temperaturas anteriores a sua estimativa.

O presente trabalho propõe desenvolver um método para estimar as temperaturas internas horárias, e temperaturas máximas, médias e mínimas diárias, a partir da temperatura externa para ambientes ocupados. Cada ambiente, devido às suas características construtivas e de uso, terá uma relação empírica da temperatura interna em função da temperatura externa, e esta relação empírica será a “assinatura térmica” do ambiente. A relação empírica é uma equação reduzida da temperatura interna em função da temperatura externa. Colocando as equações num gráfico de temperaturas internas x temperaturas externas pode-se comparar o

comportamento térmico de ambientes, verificando qual teve melhor desempenho térmico frente ao clima. Para a “assinatura térmica” do ambiente se enquadrar nas normas de desempenho térmico, a mesma deve estar contida dentro da zona de temperaturas recomendadas pela proposta de norma (ABNT, 2002a), como mostra a Figura 02.

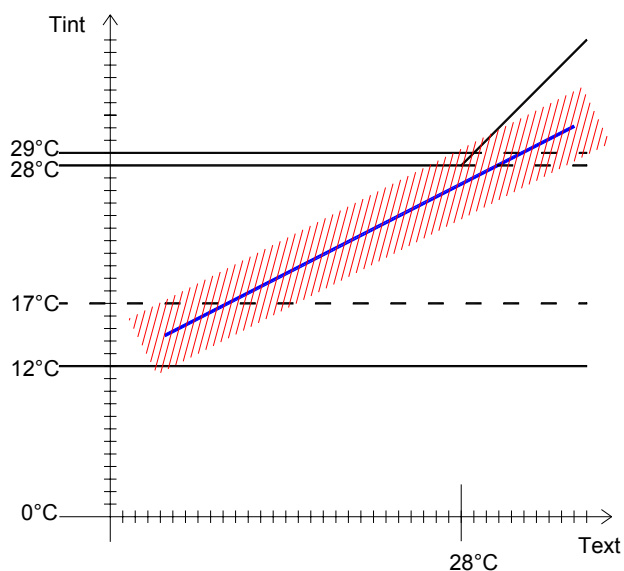


Figura 02. Exemplificação gráfica da “assinatura térmica” de um ambiente e sobre a delimitação das temperaturas internas para garantir condições mínimas de conforto segundo proposta de norma de conforto térmico da ABNT.

Na Figura 02, a reta é a “assinatura térmica” e a hachura representa o intervalo de confiança da estimativa.

1.3 Limitações

A temperatura foi o único dado coletado durante as medições. O equipamento utilizado para medição das temperaturas permitiu uma fácil aquisição dos dados sem interferir na ocupação. O sensor se encontra dentro de um invólucro plástico que pode sofrer influência de radiação de onda longa, por isso os equipamentos colocados no ambiente externo foram protegidos por alumínio, enquanto que os equipamentos colocados no ambiente interno não sofreram nenhuma intervenção.

Os equipamentos utilizados para a aquisição das temperaturas internas foram dispostos em locais que não interferissem na utilização do ambiente. Por isso, a temperatura do ar medida pode ser não representativa da temperatura do ar do ambiente, e sim do local onde foi

colocado o sensor. Mas esta limitação não inviabiliza a pesquisa, porque o que se busca nesta tese é uma relação entre temperatura interna e externa.

As medições de temperaturas foram feitas em duas cidades, Florianópolis - SC e Curitiba – PR, em Florianópolis em residências de classe média, e em Curitiba em moradias populares. As conclusões se referem aos resultados das análises feitas nestas edificações residenciais.

1.4 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é determinar um método simples para estimar a temperatura de um ambiente em uso e naturalmente ventilado, a partir de dados de medição das temperaturas interna e externa.

Os objetivos específicos são:

1. Apresentar uma ferramenta simples de estimativa das temperaturas internas de edificações em uso, horárias e diárias, tendo como parâmetro de entrada apenas a temperatura externa;
2. Para edificações residenciais em uso, determinar se dois meses de medição da temperatura interna e externa podem ser suficientes para estimar a variação da temperatura interna anual.

1.5 Hipótese

A partir de dados de medição de curto período em um ambiente ocupado e naturalmente ventilado, é possível estimar a temperatura interna com precisão adequada, tendo como variável independente somente a temperatura externa.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho se estrutura em 7 capítulos, além da introdução.

O capítulo 2 faz uma revisão bibliográfica sobre os assuntos pertinentes a esta tese.

O capítulo 3 caracteriza os ambientes das três residências de Florianópolis que tiveram suas temperaturas internas medidas, e que serviram de aporte para a proposição desenvolvida neste trabalho. Neste capítulo também são caracterizadas as residências que tiveram suas temperatura medidas na cidade de Curitiba.

No capítulo 4 o método para estimar a temperatura interna horária a partir da temperatura externa horária é apresentado, usando para isso as temperaturas medidas nas três residências de Florianópolis. Primeiro é feita a correlação da temperatura interna horária e da média da temperatura externa de horas anteriores. Depois através de análise de regressão determina-se uma equação estimativa da temperatura interna a partir da temperatura externa. Foram determinadas equações estimativas das temperaturas internas horárias a partir de temperaturas de todo um ano e de dados de temperaturas medidos em dois meses.

No capítulo 5 é mostrado o desenvolvimento do método de estimar as temperaturas internas máximas, médias e mínimas a partir da temperatura externa para as três residências em questão. Para determinação do modelo estimativo das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias, foi feita a correlação entre a temperatura interna diária e a média das médias da temperatura externa de dias anteriores. Após isto foram determinadas as equações estimativas das temperaturas internas diárias através de análise de regressão. As equações estimativas foram formuladas com dados de temperatura de um ano de medição e de temperaturas medidas em dois meses.

As equações determinadas nos capítulos 4 e 5 são validadas no capítulo 6, usando para isso, as temperaturas medidas em um período posterior às medições de temperaturas que originaram as equações estimativas.

No capítulo 7 o método proposto é aplicado em edificações da Vila Tecnológica de Curitiba, para uma validação do método estimativo proposto em um outro clima.

As conclusões do presente trabalho e as sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 8.

2 Revisão Bibliográfica

As áreas pesquisadas para o desenvolvimento desta tese podem ser divididas em seis grupos: (1) métodos estimativos da temperatura interna; (2) diretrizes bioclimáticas para construções no clima quente e úmido; (3) conforto térmico; (4) desempenho térmico; (5) determinação da admitância térmica; e (6) estimativa de dados climáticos. Neste capítulo é feita uma síntese somente dos trabalhos diretamente afins com a proposição desta tese, sendo por isso estruturado em três partes. A primeira parte descreve as pesquisas que têm sido feitas com o intuito de estimar as temperaturas internas de ambientes naturalmente ventilados a partir de dados medidos no local. Como o objetivo desta pesquisa é a estimativa da temperatura interna, a segunda parte deste capítulo expõe métodos utilizados para estimativa de dados climáticos, que podem indicar caminhos para estimativa das temperaturas internas de ambientes em uso e naturalmente ventilados. Por último, são mostradas as ferramentas estatísticas que serão utilizadas ao longo do texto desta tese.

2.1 Estimativa da temperatura de ambientes naturalmente ventilados com o mínimo de dados climáticos

Modelos analíticos de determinação da temperatura interna levam em conta as características termo-físicas dos elementos construtivos, área, volume, área de aberturas para ventilação, ganhos de calor interno e externo, e trocas internas de calor. Portanto é necessário o conhecimento do clima para a obtenção de boas estimativas utilizando os modelos analíticos.

Givoni (1994) apresenta uma fórmula para estimar a temperatura máxima interna tendo como dados de entrada apenas o conhecimento da temperatura externa e parâmetros que dependem da massa térmica do ambiente, obtidos a partir de dados de medição da temperatura. Givoni comenta que o principal objetivo era avaliar a redução da temperatura máxima interna abaixo da temperatura máxima externa. Para a pesquisa foram utilizados dois ambientes protótipos de 23m² e 2,4m de altura, com área total de janelas de aproximadamente 4,6m², divididas igualmente nas quatro fachadas. Os dois protótipos têm a mesma transmitância térmica nas paredes, mas com diferentes níveis de massa térmica. Os protótipos foram pintados de cor escura (absortância de 0,6) e testados em quatro configurações: (1) janelas não sombreadas e fechadas; (2) janelas fechadas e sombreadas; (3) janelas sombreadas e fechadas durante o dia e abertas à noite com o uso de ventilador que garantia 30 trocas de ar por hora; (4) janelas

sombreadas e fechadas durante o dia e abertas à noite com o uso de ventilador que garantia 50 trocas de ar por hora. Depois os protótipos foram pintados de branco (absortância de 0,3), e as janelas permaneceram sombreadas e foram feitas medições com as janelas fechadas e com ventilação noturna. Desta forma, cada protótipo foi testado em sete configurações diferentes.

Uma segunda série de medições das temperaturas internas foi feita com as janelas abertas e sombreadas durante todo o dia. Durante a noite foram usados ventiladores. Através de uma análise visual dos gráficos de distribuição de temperatura da segunda série de medições, Givoni percebeu que a temperatura máxima interna dos dois protótipos se relacionava com a amplitude térmica externa, e definiu fórmulas a partir dos dados de medição. A fórmula para determinação da temperatura máxima interna apresentada por Givoni (1998) para o protótipo com pouca massa térmica é descrita na Eq. (1)

$$T_{\max} = T_{\max \text{ ext}} - 0,12(T_{\max \text{ ext}} - T_{\min \text{ ext}}) \quad (1)$$

A Eq. (2) mostra a fórmula para a determinação da temperatura máxima interna do protótipo com maior massa térmica.

$$T_{\max} = T_{\max \text{ ext}} - 0,3(T_{\max \text{ ext}} - T_{\min \text{ ext}}) \quad (2)$$

Onde:

T_{\max} é a temperatura máxima interna num determinado dia;

$T_{\max \text{ ext}}$ é a temperatura máxima externa num determinado dia;

$T_{\min \text{ ext}}$ é a temperatura mínima externa num determinado dia;

Da primeira série de medições, onde não houve ventilação durante o dia, Givoni apresentou uma outra fórmula obtida a partir dos dados de medição. Esta fórmula foi baseada nas seguintes observações de pesquisa de campo:

- O parâmetro climático que melhor se correlacionava com a temperatura máxima interna é a temperatura média externa;
- Em regime permanente (temperatura média externa constante), a temperatura máxima interna acima da média externa, depende das condições de sombreamento das janelas e da cor do envelope externo;

- Em regime transiente, a temperatura máxima interna do protótipo com mais massa térmica varia aproximadamente metade da variação da temperatura média externa, e a edificação com pouca massa apresenta variação próxima da média externa.

Estas observações são apresentadas por Givoni (1998) e embasam a fórmula preditiva da temperatura máxima interna, conforme apresentado na Eq.(3).

$$T_{\max} = GT_{\text{avg}} + \Delta T + k_1 * (T_{\text{avg}} - GT_{\text{avg}}) \quad (3)$$

Onde:

T_{\max} é a temperatura máxima interna num determinado dia;

GT_{avg} é uma grande média da temperatura externa. O intervalo temporal da média não foi definido pelo autor, apenas é citado tratar-se de uma média de um período completo de uma dada série experimental;

ΔT é o valor médio da temperatura máxima interna acima da temperatura média externa. Este valor depende da capacidade térmica, resistência térmica, sombreamento e condições de ventilação (período não definido);

T_{avg} é a temperatura média externa de um determinado dia;

k_1 é uma razão da taxa das variações diárias da temperatura máxima interna para a taxa de variação da temperatura média externa, dependendo do nível de massa térmica.

O parâmetro $(T_{\text{avg}} - GT_{\text{avg}})$ representa as variações diárias na temperatura média externa.

Os valores k_1 e ΔT representam as características térmicas da edificação, como: resistência térmica, capacidade térmica, sombreamento, cor externa e taxa de ventilação. O valor de k_1 pode ser matematicamente determinado como mostra a Eq. (4).

$$k_1 = \frac{\Delta T_{\text{max int}}}{\Delta T_{\text{med ext}}} \quad (4)$$

Onde

ΔT_{maxint} = diferença da temperatura máxima interna de um determinado dia para o dia anterior;

ΔT_{medext} = diferença da temperatura média de um determinado dia para o dia anterior.

O fator de ganho solar, na Eq. (3) explicitado como ΔT , requer o conhecimento de um período de medição da temperatura interna máxima acima da temperatura média externa, período este, não definido por Givoni (1998 e 1999) nem na tese de doutorado orientada por Givoni (LABIB, 1997).

A utilização dos dados de radiação solar levou a uma melhora na concordância entre dados medidos e calculados. Mas Givoni tinha a intenção de apresentar uma fórmula simples de determinação da temperatura máxima interna, utilizando para isso poucas informações climáticas. Desta forma, a fórmula pode ser usada em locais onde somente a temperatura média diária é disponível.

As variáveis k_I e ΔT são derivadas de dados experimentais realizados na Califórnia (LABIB, 1997) e em Israel (GIVONI, 1994 e 1998). Os valores de k_I são apresentados na Tabela 1, enquanto os valores de ΔT são apresentados na 0.

Tabela 1. Valores derivados experimentalmente para a variável k_I .

Tipo de Envoltória	k_I
pouca massa térmica	0.8
muita massa térmica	0.5

Tabela 2. Valores derivados experimentalmente para a variável ΔT .

Característica do ambiente	pouca massa	muita massa
Janelas sem sombreamento, sem ventilação noturna	11	7,5
Janelas sombreadas, sem ventilação noturna	9	5
Janelas sombreadas, pouca velocidade na ventilação noturna	8	2,5
Janelas sombreadas, alta velocidade na ventilação noturna	8	2
Janelas sombreadas, cor branca, sem ventilação		2,5
Janelas sombreadas, cor branca, ventilação noturna		0,5

Givoni (1998) comenta que o parâmetro k_f depende principalmente do efeito da massa térmica e da área da massa efetiva para a estocagem do resfriamento noturno.

Em Papst e Lamberts (2001) os valores de ΔT também foram derivados de dados experimentais, mas em residências em uso em Florianópolis. O que se verificou foi uma variação no valor médio mensal de ΔT nas edificações de Florianópolis, e não um valor único para todo o ano como aparece na Tabela 2.

Nos trabalhos publicados por Givoni até 1999, só era apresentada a equação preditiva para ambientes desocupados. Foi discutida a utilização do método proposto por Givoni para determinação de modelos estimativos da temperatura interna para edificações em uso (informação verbal)¹, em cima de dados de medição da temperatura de edificações em Florianópolis (PAPST, 1999; PAPST e LAMBERTS, 2000).

Em Givoni e Vecchia (2001), a estimativa das temperaturas internas: máximas, médias e mínimas, foi feita em edificações ocupadas em Descalvado – São Paulo. As equações preditivas das temperaturas internas máximas foram incorporadas com a média da radiação solar diária, e nas equações preditivas das temperaturas internas mínimas, a amplitude diária externa fez parte da equação. As equações preditivas da temperatura interna passam a ser características somente daquela edificação, pois são ambientes ocupados. Em Givoni et al. (2002) são apresentados gráficos relacionando as temperaturas medidas e as temperaturas estimadas para as equações preditivas das edificações de Descalvado. A forma mostrada para analisar os dados foi o coeficiente de determinação (R^2) de uma reta. O parâmetro estatístico adotado para análise dos resultados não é ideal, pois o R^2 é a proporção da variância da temperatura estimada que pode ser atribuída à variância da temperatura medida, e não quão bem a equação proposta estima a temperatura interna.

Ainda em Givoni et al. (2002) são mostradas as equações preditivas das temperaturas máximas, médias e mínimas de duas moradias da Vila Tecnológica de Curitiba (KRÜGER e DUMKE, 2001), uma da construtora MLC e outra da construtora Kuerten. As duas casas têm transmitâncias térmicas parecidas mas com diferentes capacidades térmicas. A moradia da construtora MLC tem atraso térmico de 5,6 horas, enquanto a moradia da Construtora Kuerten

¹ Discussão ocorrida com Baruch Givoni durante o Seminário Internacional NUTAU em 2000.

apresenta atraso térmico de apenas uma hora. A Eq. (5), a Eq. (6) e a Eq. (7) são as equações preditivas das temperaturas internas da moradia MLC: máximas, médias e mínimas respectivamente.

$$T_{\max} = T_{avg} + 4,9 + 0,065 * GT_{avg} - 0,3176 * (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (5)$$

$$T_{med} = GT_{avg} + 2,5 + 0,0336 * GT_{avg} + 0,74 * (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (6)$$

$$T_{\min} = T_{avg} + 0,3 - 0,2233 * (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (7)$$

Onde

T_{med} é a temperatura média interna num determinado dia;

T_{\min} é a temperatura mínima interna num determinado dia;

A Eq. (8), a Eq. (9) e a Eq. (10) são as equações preditivas das temperaturas internas: máximas, médias e mínimas respectivamente, da moradia Kuerten.

$$T_{\max} = T_{avg} + 0,6 + 0,69 * (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (8)$$

$$T_{med} = GT_{avg} + 4,1 - 0,067 * GT_{avg} + 0,74 * (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (9)$$

$$T_{\min} = T_{\min ext} + 6,1 - 0,1156 * GT_{\min} + 0,75 * (T_{\min ext} - GT_{\min}) \quad (10)$$

Onde

$T_{\min ext}$ é a temperatura mínima externa num determinado dia;

GT_{\min} é a média da temperatura mínima externa.

Em Krüger e Givoni (sem data) são apresentadas equações preditivas das temperaturas internas de uma outra moradia da Vila Tecnológica de Curitiba, a da construtora Castellamare. A Eq. (11), a Eq. (12) e a Eq. (13) são as equações preditivas das temperaturas internas: máximas, médias e mínimas respectivamente, da moradia desta construtora.

$$T_{\max} = GT_{avg} + 3,9 + 0,108 * GT_{avg} + 0,8 * (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (11)$$

$$T_{med} = GT_{avg} + 1,7 - 0,05 * GT_{avg} + 0,7 * (T_{avg} - GT_{avg}) \quad (12)$$

$$T_{min} = GT_{min} + 4,9 - 0,068 * GT_{min} + 0,75 * (T_{min ext} - GT_{min}) + 0,23 * (T_{avg(n-1)} - T_{min ext}) \quad (13)$$

Onde

$T_{avg(n-1)}$ é a temperatura média externa do dia anterior;

O que se percebe da Eq. (5) até a Eq. (13) é que existem diferenças nas variáveis que compõem as equações preditivas. As equações preditivas das temperaturas internas: máximas e médias, usam somente a temperatura média diária e a grande média, enquanto as equações preditivas da temperatura mínima interna de cada ambiente apresentam diferentes variáveis cada uma. Cada moradia tem sua própria equação preditiva, seja da temperatura interna máxima, média ou mínima. Um outro fato que se observa na Eq. (13) é a utilização da temperatura média externa do dia anterior para determinação da temperatura mínima interna.

Ogoli (2003) também utilizou o mesmo método apresentado por Givoni para avaliar o uso de massa térmica para diminuir a temperatura máxima interna em relação à temperatura máxima externa. Para isso construiu 4 protótipos de ambientes com 4m² de área e pé-direito de 2m em Nairobi no Quênia. Dois protótipos tinham paredes de 20cm de espessura de pedra natural e os outros dois tinham paredes de painéis de madeira com 5 cm de espessura. A cobertura ou era de chapa de aço galvanizado e corrugado, ou de telhas de concreto. Os protótipos foram testados com 4 composições diferentes de teto. O período de medição foi de 2 semanas para cada configuração. Ogoli determinou através de análise de regressão uma fórmula para estimar a temperatura máxima interna dos protótipos, e também o valor máximo diário da temperatura radiante média interna. Para os protótipos feitos de painéis de madeira, Ogoli estimou a temperatura radiante média a partir da temperatura externa, como é apresentado na Eq. (14).

$$MRT = 0,8372 * T_{ext} + 5,3648 \quad (14)$$

Onde

MRT é a temperatura radiante média interna;

T_{ext} é a temperatura externa.

A Eq. (14) apresentou forte coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$) e um erro padrão de $1,86^\circ\text{C}$. Para estimar a equação foram utilizados 192 dados horários de medição de temperatura, ou seja, 8 dias.

Em Curitiba foi construído um protótipo habitacional de material alternativo, e foram feitas duas medições de temperaturas, uma no verão e outra no inverno. Krüger (2004) determinou através de análise de regressão múltipla (programa Sphinx 2.09k) equações preditivas das temperaturas internas: máximas, médias e mínimas. O método adotado foi o método proposto por Givoni (1994, 1997 e 1998). Nesse trabalho, Krüger utilizou-se do TRY (ano climático de referência) de Curitiba e das equações preditivas para encontrar as temperaturas internas, para todos os dias do ano. Para cálculo da “grande média” utilizou-se da temperatura média mensal do TRY. O desempenho térmico do protótipo foi avaliado através do parâmetro somatório graus-dia, e a habitação foi classificada segundo o método da ABNT (2002a). Para a estimativa da temperatura interna média, só foi apresentada uma equação preditiva. Um fato singular observado neste trabalho, foi que, para as temperaturas internas máximas e mínimas foram estimadas duas equações preditivas, uma para o verão e outra para o inverno. A equação preditiva adotada para estimar todas as temperaturas do ano foi aquela que apresentou coeficiente de determinação (R^2) mais forte. Para estimar a temperatura interna mínima anual foi adotada a equação determinada com dados das temperaturas de inverno, e para a temperatura interna máxima anual adotou-se a equação determinada com as temperaturas de verão.

2.2 Estimativa de dados climáticos

Assim como Givoni (1994) propôs estimar a temperatura interna a partir de um curto período de medição, pesquisas têm sido feitas para moldar dados climáticos de curtos períodos de medição para serem utilizados na análise térmica de ambientes (GABRIELSSON e WILJANEN, 1994; ADELARD et al., 2000; HONG e JIANG, 1998; HONG e JIANG, 1995). Nem sempre arquivos climáticos com dados horários são disponíveis, podendo-se estimá-los de duas formas: a primeira através de correlações cruzadas entre os dados climáticos (NJAU, 1995, 1999); e a segunda através de auto-correlação das variáveis climáticas (HITTLE e PEDERSEN, 1981). Yoshida e Terai (1992) descrevem o procedimento para estimar a temperatura, a radiação solar global e a umidade, utilizando tanto a correlação cruzada quanto a auto-correlação das variáveis climáticas.

A auto-correlação é um dos métodos estatísticos de previsão de séries temporais. Uma série temporal é uma seqüência de observações ordenadas no tempo. O estudo de séries temporais permite o entendimento do mecanismo de observações passadas, para estimativa de valores futuros (WEI, 1994; BOX e JENKINS, 1976). A idéia principal da auto-correlação é determinar o padrão da série, separando-o do ruído contido nas observações individuais. A partir do padrão da série é possível prever valores futuros (SOARES et al., 1991).

A variação diária da temperatura interna não depende somente das temperaturas passadas, ela é consequência das características construtivas do ambiente, dos ganhos de calor internos, do clima, e da intervenção do usuário. Numa edificação naturalmente ventilada, a variação da temperatura interna de um ambiente é consequência de fatores externos e internos, e estes fatores podem ser divididos em cinco grupos:

1. Temperatura externa que por convecção aquece ou resfria a superfície externa do envelope da edificação;
2. Ar externo, temperatura e umidade, que entra no ambiente por infiltração ou ventilação;
3. Radiação solar absorvida nos elementos de fechamentos (paredes e coberturas), levando a um acréscimo da temperatura superficial;
4. Radiação solar transmitida para o ambiente interno através dos vidros, aquecendo as superfícies internas e depois por convecção a temperatura do ar interno;
5. Calor sensível (convecção e radiação) e calor latente (umidade) gerado pela ocupação e atividade dos ocupantes, levando ao aumento na temperatura superficial dos fechamentos internos e na temperatura do ar.

As características construtivas, os materiais de acabamento e o contato com o solo são fatores que influenciam na forma pela qual o calor é absorvido e liberado ao ambiente. A combinação destes fatores faz com que a temperatura interna de um ambiente tenha um determinado valor horário, e uma distribuição de temperaturas ao longo do dia variável em função da variação dos fatores externos e internos.

A variação de temperatura interna pode ser explicada decompondo esta variação em quatro componentes das séries temporais:

1. A tendência de acompanhar a temperatura externa;
2. Flutuação com maior ou menor regularidade ao redor da tendência;
3. Componente sazonal;
4. Irregularidade.

Em ambientes naturalmente ventilados, a temperatura externa tem influência na temperatura interna. Quando estes ambientes são amplamente ventilados, a variação na temperatura externa é igualmente percebida no ambiente interno. Dependendo da orientação e ganhos térmicos pelo envoltório, a variação da temperatura interna pode ser influenciada pela radiação solar. A flutuação da temperatura interna com menor regularidade com relação à temperatura externa e à radiação solar, é devida à maior inércia térmica dos elementos construtivos do envoltório, características da superfície externa, proteções solares e as trocas de ar com o ambiente externo.

As características construtivas, os ganhos térmicos internos e externos e as trocas de ar podem ser calculados e mostram a tendência e a flutuação da temperatura interna em relação à temperatura externa, como pode ser determinado pelo método da admitância. As diferenças no gerenciamento da edificação em razão da variação sazonal também podem ser alteradas nos cálculos. Porém, a variação da temperatura interna tem uma componente que faz com que a mesma não siga apenas ciclos harmônicos. A componente “irregularidade” contempla tanto as variações não regulares do vento dentro de uma hora, quanto as atitudes diferenciadas de gerenciamento da edificação para condições climáticas externas parecidas e ganhos internos variáveis ao longo do dia. Por isso que se afirma nesta pesquisa, que uma real representação das condições de temperatura de um ambiente interno é obtida somente com o uso de medições no local.

A Eq. (3) de estimativa da temperatura máxima interna proposta por Givoni pode ser explicada decompondo-a em três das quatro componentes já citadas:

1. A tendência de acompanhar a temperatura externa;
2. Flutuação com maior ou menor regularidade ao redor da tendência;
3. Componente sazonal.

A irregularidade não é levada em consideração, pois os protótipos não eram ocupados, e as trocas de ar interno eram mantidas constantes através do uso de ventiladores. O ΔT é o valor médio da temperatura máxima interna acima da temperatura média externa (flutuação com maior ou menor regularidade ao redor da temperatura média diária). A porcentagem com que cada temperatura média diária influi na temperatura máxima interna é decorrente do valor de k_I do ambiente. Valores altos de k_I , ou seja, edificações com pouca massa térmica, representam que a edificação tem maior dependência da temperatura média diária do que da temperatura média de um grande período. Valores baixos de k_I , ou seja, ambientes com massa térmica e bioclimaticamente solucionados, dão um maior peso para a grande média, e significa que o ambiente interno é menos influenciado pela temperatura média diária (tendência de acompanhar a temperatura externa). Porém a edificação não é somente influenciada pela temperatura do dia, parte é decorrente de uma grande média (componente sazonal).

Givoni (1994, 1997 e 1998) propõe o uso da grande média da temperatura externa na determinação da temperatura máxima interna, mas acredita-se que a temperatura máxima interna não é consequência da média de temperaturas que ainda vão ocorrer, mas sim da média das temperaturas externas que já ocorreram. Essa hipótese foi adotada porque possivelmente na Califórnia e em Israel, onde foram feitas as medições que originaram a fórmula, o clima não seja tão variável como o do sul do Brasil. Para o sul do Brasil, a média da temperatura de 10 dias e a média da temperatura de 20 dias podem apresentar grandes diferenças devido a ocorrência de uma entrada de uma frente fria, queda de temperatura esta, que também ocorre nos períodos quentes. Devido a esta variação climática que ocorre no sul do Brasil, acredita-se ser importante utilizar a média da temperatura externa do período anterior ao dia em que se queira estimar a temperatura máxima interna. Em Papst e Lamberts (2001) se verificou que a temperatura máxima interna tem uma correlação mais forte com a temperatura média de três dias, do dia mais dois dias anteriores, do que com somente a temperatura média diária.

2.3 Análise Estatística: Séries Temporais

Séries temporais são conjuntos de observações ordenadas no tempo (WEI, 1994). Para ser considerada uma série temporal é preciso que as observações sejam dependentes ou correlacionadas, e as observações devem estar em ordem cronológica.

Na análise de séries temporais há dois principais objetivos:

1. identificar a natureza do fenômeno representado por uma seqüência de observações;
2. previsão de valores futuros da série temporal variável.

Uma vez identificado e descrito um padrão com os dados de uma série temporal, pode-se extrapolar este padrão identificado para previsão de eventos futuros.

Como na maioria das análises estatísticas, na análise de séries temporais assume-se que os dados consistem de um padrão sistemático e um erro aleatório, o qual, usualmente faz com que o padrão seja difícil de ser identificado. Técnicas de análises de séries temporais envolvem algum tipo de filtro de forma a tornar o padrão mais facilmente observado. O filtro utilizado nos dados desta tese para realçar o padrão de distribuição ou ocorrência de temperaturas, foi a Média Móvel.

2.3.1 Média Móvel

A Média Móvel uniformiza a flutuação dos dados, mostrando mais claramente o padrão ou tendência daquela série de valores (WEI, 1994). A Média Móvel é o valor médio de uma variável em um número específico de períodos anteriores, como é apresentado pela Eq. (15).

$$F_{(n)} = \frac{\sum_{j=1}^n A_{j-n}}{n} \quad (15)$$

Onde

n é o número de períodos anteriores para incluir na média móvel

A_j é o valor real no período de tempo j

F_n é o valor previsto no período de tempo j

Na análise dos dados, a média móvel foi calculada para vários períodos de tempo anteriores. No caso das temperaturas horárias, os períodos de tempo anteriores variaram de uma a 72 horas.

2.3.2 Correlação e Correlogramas

A correlação mede o grau de associação entre duas variáveis e se elas variam no mesmo sentido ou em sentidos opostos. A correlação (R) entre duas variáveis é determinada utilizando a Eq. (16) (COSTA NETO, 1977).

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (16)$$

Onde

x_i e y_i são os pares de valores das variáveis

n o número de pares encontrados na série analisada

A correlação mede a associação entre duas séries de variáveis, resultando num único valor. No presente trabalho foi calculada a correlação da temperatura interna horária de um ano, por exemplo, com os valores da temperatura horária média de horas anteriores. Dessa forma, foram calculados tantos valores de correlação quanto foram os períodos de tempo anteriores utilizados para calcular as médias móveis da segunda variável. Para facilitar a representação destes valores utilizou-se um gráfico chamado de correlograma. Nos correlogramas são dispostos os valores encontrados na correlação entre duas variáveis em função do período de tempo anterior utilizado para calcular uma das variáveis (WEI, 1994).

2.4 Análise estatística: regressão

A disposição de duas séries de valores num diagrama de dispersão muitas vezes sugere a existência de uma relação entre as duas variáveis. A análise de regressão na estatística é uma ferramenta para se determinar uma função que exprima este relacionamento destas duas variáveis: variável resposta ou dependente e variável explicativa ou independente.

Se o conjunto de pontos destas duas variáveis pode ser expresso por uma reta, o modelo matemático de regressão pode ser descrito pela Eq. (17) (SOARES et al., 1991).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (17)$$

Onde

y_i é a variável dependente

β_0 é o intercepto da reta de regressão

β_1 é o coeficiente angular da reta de regressão

ε_i é o resíduo, ou seja, a diferença entre valor observado e o valor estimado

As ferramentas estatísticas descritas a seguir serão utilizadas para avaliar a representatividade das equações de regressão.

2.4.1 Coeficiente de Determinação – R^2

O valor do coeficiente de determinação, R^2 , é um indicativo de quanto a reta de regressão fica bem determinada em função da correlação entre os pontos. No caso ideal, $R^2=1$, não existiria variação residual e todos os pontos estariam alinhados (SOARES et al., 1991).

2.4.2 Teste F

A análise de variâncias (teste F) compara a variação explicada pelo modelo de regressão com a variação devida aos resíduos, para então poder afirmar se existe relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes. Se a equação apresentar $F_{\text{calculado}}$ superior ao $F_{\text{crítico}}$ tabelado, para o intervalo de confiança escolhido, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes (SOARES et al., 1991).

2.4.3 Erro padrão

Erro padrão é uma medida da dispersão do erro na previsão da variável dependente para a variável independente da regressão.

2.4.4 Teste t parcial de regressão

O teste de significância dos coeficientes parciais de regressão serve para determinar a importância de cada uma das variáveis do modelo de regressão. A estatística utilizada neste teste é a análise de variância dos estimadores dos parâmetros, sendo que estes têm que ter uma distribuição t (Student). Para um nível de confiança determinado, todos os coeficientes

parciais de regressão devem apresentar valor de t superior ao $t_{\text{crítico}}$, correspondente ao intervalo de confiança escolhido.

2.4.5 Valor P

O valor-P representa a probabilidade de erro envolvida em aceitar os valores observados como válidos. O valor-P representa um índice decrescente da confiabilidade de um resultado, pois quanto maior o valor-P, menor a confiança na relação observada entre variáveis na amostra. O valor-P é um real indicador da relação entre as respectivas variáveis na população.

2.5 Análise estatística: comparação entre valores teóricos e experimentais

Uma vez definido os modelos de estimativa, é preciso definir qual o melhor modelo. Para comparar os modelos de estimativa com um grande número de dados, adota-se dois testes estatísticos: o RMSE (Root Mean Square Error) e o MBE (Mean Bias Error). O RMSE é uma medida da dispersão dos valores estimados em relação aos valores medidos. O MBE é uma indicação do desvio médio dos valores estimados dos valores medidos (IQBAL, 1983). A Eq. (18) e a Eq. (19) mostram como se determina o RMSE e o MBE.

$$RMSE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad (19)$$

Onde:

y_i é o valor estimado

x_i é o valor medido

N é o número de observações

O melhor modelo estimativo é aquele que apresenta os valores de RMSE e o de MBE mais próximos a zero.

2.6 Conclusão

A idéia básica do método proposto por Givoni (1994) é facilitar a estimativa da temperatura interna a partir de dados medidos, porém para a utilização do método se pressupõe o conhecimento da ferramenta estatística de análise de regressão multivariada, e a utilização de um número não definido de variáveis independentes. Na estimativa da temperatura interna, no método apresentado por Givoni, é utilizada uma “grande média” da temperatura do período de determinação da temperatura. O número de dias para se determinar a grande média não é definido, e acredita-se que na determinação da temperatura interna é importante considerar temperaturas externas que ocorreram, e não temperaturas externas que ainda vão ocorrer.

Ogoli (2003) utilizou-se da metodologia proposta por Givoni, mas apresenta no seu artigo uma equação para estimar a temperatura radiante média de um protótipo somente a partir da temperatura externa. A equação foi estimada a partir da análise de regressão simples, e serve para estimativa horária.

Em Givoni et al. (2002) o método de estimativa da temperatura interna é utilizado para ambientes em uso. A partir de duas curtas medições de temperatura em um protótipo habitacional em Curitiba, Krüger (2003) determinou através de análise de regressão múltipla duas equações preditivas das temperaturas internas, uma para verão, outra para o inverno. A escolha da equação preditiva para estimar as temperaturas de um ano foi aquela que apresentou o coeficiente de determinação (R^2) mais forte. Porém, a utilização da equação preditiva de um curto período de medição pode não ser representativa do ano inteiro em um clima como o de Curitiba, marcado por constantes entradas de frentes frias.

Ferramentas estatísticas de previsão de dados climáticos, como média móvel e análise de regressão, foram mostradas neste capítulo com o intuito de aplicá-las para estimativa das temperaturas internas de ambientes em uso.

3 Caracterização dos ambientes monitorados

Para desenvolver o método de estimativa da temperatura interna a partir da temperatura externa, foram utilizadas temperaturas medidas durante um ano em três residências na cidade de Florianópolis. Para aferir o método proposto foi feita uma medição posterior em duas das residências monitoradas. Para avaliar a eficácia do método proposto em uma cidade diferente, uma segunda aferição foi feita com dados de temperaturas medidas em casas populares de Curitiba/PR.

Na cidade de Florianópolis, em cada ambiente monitorado foi instalado um ponto de medição da temperatura, além de um ponto de medição da temperatura externa. Em Curitiba, por se tratarem de residências populares, foi instalado um ponto de medição da temperatura em cada casa e um sensor externo em uma das casas. Todos os sensores que foram postos na parte externa da edificação, foram recobertos com alumínio para evitar a influência da radiação solar e radiação de onda longa. As temperaturas foram medidas em intervalos de meia em meia hora, e feita a média para a determinação da temperatura horária.

Os equipamentos utilizados para aquisição dos valores da temperatura foram sistemas de aquisição de sinais modelo HOBO[®] Temp Data Logger, da Onset Computer Corporation. Os sensores dos HOBO[®] operam na faixa de temperaturas de -40°C a $+120^{\circ}\text{C}$, e armazenam valores de -40°C a $+75^{\circ}\text{C}$. A incerteza de medição na faixa de temperaturas em que foram feitas as aquisições de dados é de 0,7 K, e a resolução 0,4 K. Os sensores trabalham numa faixa de umidade relativa de 0 a 95%, desde que não haja condensação. Foi feita uma aferição com os HOBOS, sendo que as distribuições das temperaturas foram parecidas e com diferenças inferiores a 0,7 K.

Os dados de radiação solar de Florianópolis utilizados neste trabalho foram obtidos no Laboratório de Energia Solar – LabSolar, da Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Neste capítulo são caracterizados os ambientes cujas temperaturas foram medidas e o período em que foram feitas estas medições.

3.1 Residências monitoradas em Florianópolis

Os dados de temperaturas usados para o desenvolvimento do método proposto nesta tese foram medidos por Papst (1999). As temperaturas internas foram adquiridas em base horária no período de 01/04/1998 a 31/03/1999.

As três edificações que tiveram suas temperaturas internas monitoradas durante um ano serão chamadas de: Residência A, Residência B e Residência C. Estas situam-se no bairro Lagoa da Conceição, Florianópolis-SC. Os projetos das três residências foram desenvolvidos por arquitetos que procuraram valorizar aspectos de insolação, visuais e de conforto. As edificações têm em comum o fechamento lateral em tijolo cerâmico e cobertura de telhas cerâmicas.

No período entre 12/07/2002 a 25/09/2002 foram feitas medições de temperaturas para avaliar a qualidade do método proposto. Porém estas restringiram-se às temperaturas externas e às temperaturas internas de duas residências: residência B e Residência C. A residência A foi vendida entre os dois períodos de medição da temperatura e a mudança de ocupação descaracterizaria o comportamento durante o primeiro período, por isso não foi feita medição das temperaturas dessa residência no segundo período.

A seguir se faz uma breve descrição das residências, apresentando uma tabela com as características dos ambientes que tiveram suas temperaturas monitoradas, sua ocupação e seu sistema construtivo. As características térmicas como transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e atraso térmico foram calculados segundo a metodologia apresentada na proposta de norma da ABNT (2003).

Os ambientes das três residências são citados ao longo de todo o texto desta tese e as tabelas caracterizando os ambientes, ora apresentadas, servem como referência.

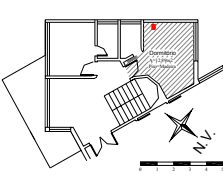

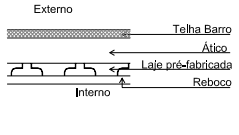
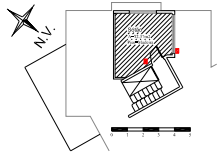
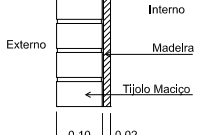
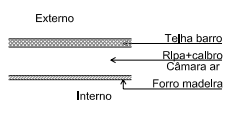
3.1.1 Residência A

A autoria do projeto arquitetônico desta residência é da Arq. Simone Antunes da Silva.

Esta edificação foi construída acima do nível da rua, por se encontrar num terreno em aclive. A edificação é composta por três pavimentos mais um sótão. Esta edificação foi projetada com grandes aberturas para permitir a ventilação cruzada no verão, e parede dupla de tijolos para minimizar a perda de calor no inverno.

A Tabela 3 apresenta um resumo das características térmicas e construtivas dos dois ambientes dos quais se utilizou os dados de temperaturas internas para análise.

Tabela 3. Características construtivas, térmicas e de ocupação do Dormitório e do Sótão da Residência A.

Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome: Dormitório Área: 12,89m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 3,72m ² Área ventilação: 1,86 m ²	Área total: 12,71m ² Orientações: NO e SO	Área total: 12,04m ² Orientações: NO
Croqui	- funcionava como dormitório de visitas	Área abertura / Área piso: 29%	U: 2,01 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 257 KJm ⁻² K ⁻¹	U: 1,92 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 113 KJm ⁻² K ⁻¹
	- faxineira a cada 15 dias	Material: vidro com veneziana de madeira	Atraso Térmico: 6,3 h absortividade: 0,63	Atraso Térmico: 3,6 h absortividade: 0,63
		Observação:	Detalhe Construtivo 	Detalhe Construtivo 
Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome: Sótão Área: 21,79m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 2,22m ² Área ventilação: 1,11 m ²	Área total: 11,25m ² Orientações: NO e SO	Área total: 13,70m ² Orientações: NO e SE
Croqui	- ocupação esporádica	Área abertura / Área piso: 18%	U: 2,42 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 177 KJm ⁻² K ⁻¹	U: 2,00 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 32 KJm ⁻² K ⁻¹
	- faxineira a cada 15 dias	Material: vidro simples com caixilho de madeira	Atraso Térmico: 3,7 h absortividade: 0,63	Atraso Térmico: 1,3 h absortividade: 0,63
		Observação:	Detalhe Construtivo 	Detalhe Construtivo 

O dormitório e o sótão da Residência A têm orientação de suas paredes externas à noroeste e sudoeste. A capacidade térmica da cobertura do sótão é de apenas 32 KJm⁻²K⁻¹, enquanto a cobertura do dormitório tem capacidade térmica 3,5 vezes superior. Os dois ambientes eram pouco ocupados e suas aberturas eram mantidas fechadas, mas o dormitório possui veneziana de madeira que ameniza a incidência solar direta nos fins de tarde.

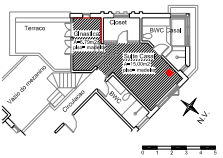
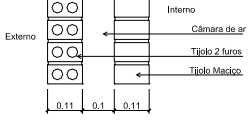
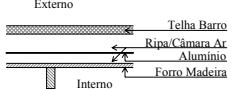
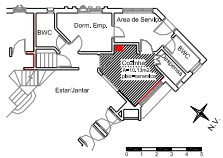
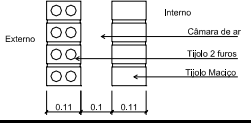
3.1.2 Residência B

Este projeto é de autoria da arq. Alice T. Cybis Pereira. O terreno em active, fez com que se construísse a garagem ao nível da rua e a edificação acima da mesma.

Nessa residência optou-se por monitorar as temperaturas em um dos dormitórios e na cozinha.

A Tabela 4 apresenta as características térmicas e construtivas dos dois ambientes da residência B que foram analisados nesta tese.

Tabela 4. Características construtivas, térmicas e de ocupação do Dormitório e da Cozinha da Residência B.

Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome: Dormitório Área: 21,79m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 7,45m ² Área ventilação: 6,15 m ²	Área total: 15,53m ² Orientações: N, SE e SO	Área total: 24,74m ² Orientações: N e SE
Croqui 	- ocupação durante toda a medição - empregada diariamente, faxineira semanal - ventilador de teto	Área abertura / Área piso: 32%	U: 1,62 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 258 KJm ⁻² K ⁻¹	U: 1,11 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 32 KJm ⁻² K ⁻¹
		Material: vidro veneziana simples com madeira	Atraso Térmico: 6,3 h absortividade: 0,40	Atraso Térmico: 2,0 h absortividade: 0,40
		Observação: Aberturas em lados opostos permitem a ventilação cruzada	Detalhe Construtivo 	Detalhe Construtivo 
Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome: Cozinha Área: 10,13m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 2,00m ² Área ventilação: 2,00 m ²	Área total: 5,50m ² Orientações: N	Observações: - Cozinha localizada no pavto térreo e abaixo do dormitório - prateleira de luz orientada à norte
Croqui 	- ocupação durante toda a medição - empregada diariamente, faxineira semanal - cocção diária	Área abertura / Área piso: 20%	U: 1,62 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 258 KJm ⁻² K ⁻¹	
		Material: vidro simples em caixilho de madeira	Atraso Térmico: 6,3 h absortividade: 0,40	Detalhe Construtivo 

O dormitório e a cozinha da residência B possuem aberturas orientadas à norte. O dormitório possui ventilação cruzada, enquanto a cozinha é integrada à sala de estar e à sala de jantar. As paredes externas desta edificação têm baixa transmitância térmica ($U=1,62\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) com grande capacidade térmica ($CT=258\text{KJm}^{-2}\text{K}^{-1}$). A cobertura tem baixa transmitância térmica ($U=1,11\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) com baixa capacidade térmica ($CT=32\text{KJm}^{-2}\text{K}^{-1}$).

Os dois ambientes monitorados nesta residência estiveram ocupados durante a medição.

3.1.3 Residência C

Este projeto é de autoria da arq. Márcia Barbieri. Nessa residência, quatro ambientes foram monitorados, três dormitórios e o escritório.

A Tabela 5 apresenta as características térmicas e construtivas dos quatro ambientes da residência C.

Por estar situado em um terreno em aclave, esta residência tem ambientes internos em desnível, e abaixo dos dormitórios 1 e 2 há um pequeno vazio, que é fechado e utilizado como porão. Este contato com uma rocha garante a estes dois dormitórios uma maior inércia térmica pelo piso. Inércia térmica de um ambiente é a capacidade de armazenar e liberar calor. Esta edificação foi implantada na encosta de um morro, sendo que a orientação solar a leste é em grande parte protegida pelo morro e pela vegetação. Sua fachada principal ficou a oeste com uma ampla vista da Lagoa da Conceição. Correntes de ar normalmente são resfriadas pela vegetação e pelo contato com a água da lagoa, o que proporciona uma melhora no conforto, apesar da orientação solar desfavorável no final das tardes mais quentes.

Somente o dormitório 1 da residência C não se encontra logo abaixo da cobertura, os outros três ambientes possuem como teto, a cobertura da edificação. A cobertura desta edificação possui baixa transmitância térmica ($U=1,11\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) com baixa capacidade térmica ($CT=32\text{KJm}^{-2}\text{K}^{-1}$). O dormitório 2 tem a cobertura orientada a leste, sendo que nessa orientação, o morro protege em grande parte a incidência do sol da manhã. O dormitório 3 e o escritório têm aberturas e coberturas orientadas à oeste, recebendo uma grande incidência solar no período vespertino. O escritório da residência C, além de ser o ambiente com maior área de abertura por área de piso, 83%, não possui veneziana nas aberturas, sendo portanto exposto ao ganho solar direto através das janelas.

Tabela 5. Características térmicas e construtivas do Dormitório 1, do Dormitório 2, do Dormitório 3 e do Escritório da Residência C.


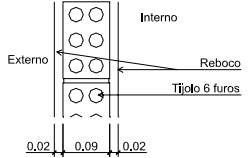
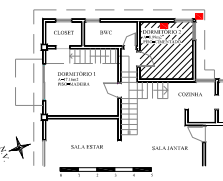
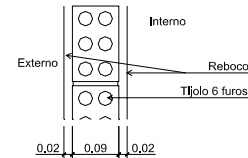
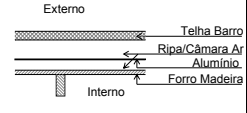

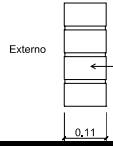
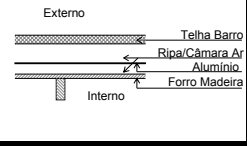
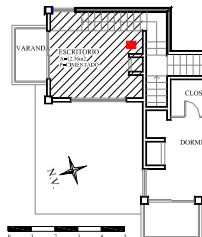
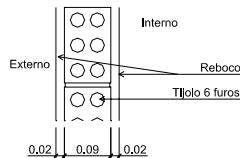
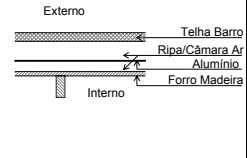
Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome:Dormitório 1 Área: 17,16m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 5,73m ² Área ventilação: 2,86 m ²	Área total: 13,04m ² Orientações: N e L	Observações: - Dormitório 1 localizada abaixo do escritório
Croqui 	- ocupação durante toda a medição - faxineira 3 dias por semana	Área abertura / Área piso: 33%	U: 2,76 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 153 KJm ⁻² K ⁻¹	
		Material: vidro simples veneziana madeira	Atraso Térmico: 3,2 h absortividade: 0,60	
		Observação: aberturas a norte e a leste	Detalhe Construtivo 	
Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome:Dormitório 2 Área: 8,99 m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 2,34m ² Área ventilação: 1,17 m ²	Área total: 12,27m ² Orientações: L e S	Área total: 9,84m ² Orientações: L
Croqui 	- funcionava como dormitório de visitas - faxineira 3 dias por semana	Área abertura / Área piso: 26%	U: 2,76 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 153 KJm ⁻² K ⁻¹	U: 1,11 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 32 KJm ⁻² K ⁻¹
		Material: vidro simples veneziana madeira	Atraso Térmico: 3,2 h absortividade: 0,60	Atraso Térmico: 2,0 h absortividade: 0,60
		Observação: aberturas a leste e a sul	Detalhe Construtivo 	Detalhe Construtivo 

Tabela 5 continua na próxima página

Continuação da Tabela 5

Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome: Dormitório 3 Área: 20,05 m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 9,30m ² Área ventilação: 5,10 m ²	Área total: 23,94m ² Orientações: N, O e S	Área total: 21,95m ² Orientações: O
Croqui 	- ocupação durante toda medição - faxineira 3 dias por semana - lareira usado no inverno - ventilador de teto	Área abertura / Área piso: 46%	U: 3,49 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 170 KJm ⁻² K ⁻¹	U: 1,11 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 32 KJm ⁻² K ⁻¹
		Material: vidro simples veneziana madeira Observação: portas-janelas oeste	2 à Atraso Térmico: 3,2 h absortividade: 0,60 Detalhe Construtivo 	Atraso Térmico: 2,0 h absortividade: 0,60 Detalhe Construtivo 
Ambiente		Abertura	Parede externa	Cobertura
Nome: Escritório Área: 12,36 m ²	Dados de Ocupação e ganhos internos:	Área total: 10,25m ² Área ventilação: 5,22 m ²	Área total: 20,75m ² Orientações: L, N e O	Área total: 13,53m ² Orientações: O e L
Croqui 	- uso esporádico - faxineira 1 vez por semana	Área abertura / Área piso: 83%	U: 2,76 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 153 KJm ⁻² K ⁻¹	U: 1,11 Wm ⁻² K ⁻¹ CT: 32 KJm ⁻² K ⁻¹
		Material: vidro simples em caixilho de madeira	Atraso Térmico: 3,2 h absortividade: 0,60 Detalhe Construtivo 	Atraso Térmico: 2,0 h absortividade: 0,60 Detalhe Construtivo 

3.2 Residências monitoradas em Curitiba

Os valores de temperaturas internas das residências de Curitiba foram medidas na Vila Tecnológica. Esta vila consiste de 100 moradias habitadas, e 20 casas em exposição para o público, todas construídas com diferentes materiais e sistemas construtivos. O objetivo da Vila Tecnológica de Curitiba foi avaliar as tecnologias apropriadas para habitações de interesse social. Dumke (2002) realizou medições de temperaturas em 18 moradias de diferentes sistemas construtivos na Vila Tecnológica, de 09/07/2000 a 03/08/2000 (inverno) e

de 12/12/2000 a 10/01/2001 (verão). Neste trabalho utilizou-se destes dois períodos de medição para determinar os modelos de estimativa da temperatura interna das residências. Uma posterior medição das temperaturas foi feita em catorze das dezoito casas monitoradas, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. A Tabela 6 foi retirada de Dumke (2002) e apresenta as características construtivas de cada uma das edificações monitoradas. As edificações diferem entre si com relação ao sistema construtivo, orientação solar, planta baixa e ocupação.

Tabela 6. Sistemas Construtivos das moradias monitoradas na Vila Tecnológica - Curitiba/PR.

	Empresa/Estado	Parede	Cobertura	Área [m ²]
1	MLC-Engenharia /RS	Painéis de concreto armado com camada isolante interna de lajotas cerâmicas.	Laje pré-fabricada e telha em fibrocimento.	39,6
2	Paineira/DF	Painéis duplos de concreto com câmara de ar, rebocados externamente.	Forro de painéis de concreto, câmara de ar com ventilação e telhas de fibrocimento.	36,9*
3	Castellamare/PR	Blocos de concreto vazados.	Forro de madeira e telha de fibrocimento.	40,2
4	Battistella/SC	Painéis de madeira com revestimento acrílico.	Forro de madeira, câmara de ar com ventilação e telhas de fibrocimento.	36,4*
5	Eternit /SP	Painéis de madeira revestidos com chapas de fibrocimento.	Forro de madeira, câmara de ar com ventilação e telhas de fibrocimento.	51,5*
6	Constroyer /SP	Painéis monolite de poliestireno expandido entre telas de aço, revestidos com argamassa.	Painéis monolite revestidos c/argamassa na face inferior e concreto na face superior, com telhamento cerâmico.	37,3
7	Kürten/PR	Painéis de madeira de pinus.	Forro de madeira e telha cerâmica.	43,5*
8	Todeschini/MS	Kit pré-fabricado de madeira de lei.	Forro de madeira e telha cerâmica.	32,8*
9	Faci Casas/PR	Placas de concreto armado.	Forro de madeira e telha cerâmica.	39,8*
10	Tetolar/PR	Placas de concreto armado.	Forro de madeira e telha cerâmica.	43,6
11	Andrade Gutierrez/MG	Tijolos de solo-cimento.	Forro de madeira e telha cerâmica.	36,6
12	Cohab/PA	Tijolos cerâmicos vazados.	Forro de madeira, câmara de ar com ventilação e telha cerâmica.	31,0*
13	ABC Construtora/MG	Painéis de concreto celular.	Forro de madeira, câmara de ar com ventilação e telha cerâmica.	40,1
14	CHJ/SP	Painéis monolíticos de concreto armado sem reboco.	Forro de gesso acartonado, câmara de ar com ventilação e telhas cerâmicas.	40,6

* – foi considerada apenas a área original, pois as ampliações foram realizadas usando-se outro sistema construtivo e as medições tomadas no sistema construtivo original

Das catorze moradias analisadas, somente cinco construtoras fizeram a cobertura com fibrocimento: MLC-Engenharia, Paineira, Castellamare, Battistella e Eternit. As moradias da MLC-Engenharia e da Paineira têm as paredes feitas de painéis de concreto e possuem concreto também na cobertura. A moradia da construtora Castellamare tem parede de blocos de concreto, mas a cobertura é com forro de madeira. Nas moradias das construtoras Battistella e Eternit, as paredes e os forros são de madeira.

Todas as demais edificações que serão descritas a seguir, possuem telhamento cerâmico.

A moradia da construtora Constroyer tem baixa transmitância térmica, porque tem paredes e forro de painéis de poliestireno.

As moradias das construtoras Küerten e Todeschini têm paredes e forros de madeira.

As casas das construtoras Faci Casas e Tetolar têm sistemas construtivos parecidos: placas de concreto armado nas paredes e cobertura com forro de madeira e telha cerâmica. A construtora CHJ fez paredes de painéis de concreto armado e com forro de gesso acartonado.

As moradias das construtoras Andrade Gutierrez e da Cohab têm paredes em tijolos de solo-cimento e tijolos cerâmicos, respectivamente, enquanto que a moradia da construtora ABC é de painéis de concreto celular. As moradias das construtoras Andrade Gutierrez, Cohab e ABC têm forro de madeira.

A forma de ocupação e o número de ocupantes das casas durante o período da medição são parcialmente conhecidos. Este fato não inviabiliza este trabalho porque a utilização das temperaturas medidas nas casas da Vila Tecnológica de Curitiba servirão apenas para testar a aplicação do método apresentado nesta tese, não para desenvolvê-lo.

4 Desenvolvimento do método: estimativa da temperatura interna horária a partir da temperatura horária externa

Cada ambiente, de acordo com suas particularidades, terá sua própria variação da temperatura interna. Este trabalho busca determinar equações para cálculo da temperatura interna de um ambiente a partir de dados de temperaturas medidas. A equação estimativa é a “assinatura térmica” do ambiente, pois é a representação da temperatura interna diante do clima, das características construtivas e da ocupação.

Dois ambientes com as mesmas características construtivas, mesma orientação solar, expostos ao mesmo micro-clima, podem vir a ter diferentes temperaturas internas devido a uma ocupação ou gerenciamento do ambiente diferenciado um do outro. Da mesma forma, dois ambientes com a mesma ocupação e expostos ao mesmo micro-clima, mas com características construtivas diferentes, podem apresentar temperaturas internas diferentes ou iguais. Partindo do pressuposto que as características construtivas são constantes em um ambiente, e as características de gerenciamento do ambiente mudam conforme as sensações térmicas dos seus ocupantes, o primeiro procedimento para estimar a temperatura interna é verificar como ela é influenciada pelo clima externo.

4.1 Correlação da temperatura interna com a temperatura externa e a radiação solar em base horária

Em ambientes com pouca inércia térmica, a temperatura externa e a radiação solar influenciam instantaneamente, ou quase, na temperatura interna, seja pela ventilação, seja pelos ganhos solares pelos fechamentos transparentes e opacos. Em ambientes com muita inércia térmica, a temperatura externa e a radiação solar influenciam a temperatura interna com atraso térmico. A inércia térmica é a capacidade de armazenar e liberar calor dos elementos construtivos, por isso, elementos construtivos que armazenam mais o calor externo, demoram a transmiti-lo para o ambiente interno.

Para exemplificar essa influência do clima externo na temperatura interna, a Figura 03 mostra a distribuição da temperatura interna horária de três ambientes da residência C juntamente com a temperatura externa e a radiação solar, durante quatro dias do mês de abril de 1998.

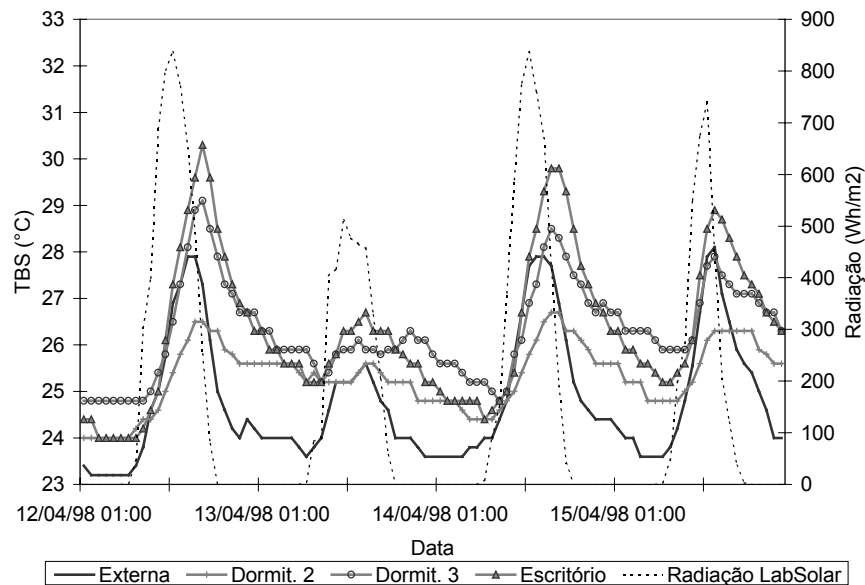


Figura 03. Distribuição de temperaturas horárias de três ambientes da residência C, temperatura externa e radiação solar durante quatro dias do mês de abril de 1998.

Percebe-se na Figura 03 que os ambientes intitulados dormitório 3 e escritório apresentaram em geral temperaturas internas superiores à temperatura externa devido aos ganhos térmicos solares. Nestes dois ambientes observa-se um atraso térmico variando de uma a seis horas e a temperatura interna segue a variação da temperatura externa horária. Já a variação térmica diária do dormitório 2 foi menos afetada pelas variações da temperatura externa e da radiação solar horárias. Isto acontece porque neste ambiente ocorre uma menor incidência de radiação solar e é um ambiente pouco ocupado. Uma temperatura horária que fosse a média de temperaturas de horas anteriores poderia explicar melhor a variação da temperatura interna do dormitório 2. Por isso, na temperatura interna horária dos oito ambientes das três residências de Florianópolis, será avaliada a influência tanto da média da temperatura externa de horas anteriores, quanto da média da radiação solar de horas anteriores.

As correlações entre temperatura interna horária e as médias da temperatura externa de 1 a 72 horas anteriores (3 dias), e as correlações entre temperatura interna horária e as médias de radiação solar de 1 a 144 horas anteriores (6 dias), são mostradas em um gráfico demonstrativo chamado correlograma. O número de horas usado para estimar a média da temperatura anteriores foi em função da ocorrência de um pico de máximo na curva do correlograma, e no caso da radiação solar, o número de horas anteriores utilizado para fazer a média foi até que a curva do correlograma tendesse a se estabilizar.

A Figura 04 mostra o correlograma da temperatura interna horária com a média da temperatura externa de horas anteriores nos ambientes da residência A. Percebe-se 3 picos de máximos nos valores de correlação entre a temperatura interna dos dois ambientes da residência A e a média da temperatura externa no período de 72 horas anteriores. Os picos de máximo no Dormitório ocorreram na média do período de 14, 33 e 55 horas anteriores, sendo que o valor máximo da correlação foi de 0,983 na média do período de 33 horas anteriores. No sótão, os picos de máximo ocorreram nos valores de correlação da temperatura interna e a média da temperatura externa no período de 3 horas anteriores, 29 horas anteriores e 52 horas anteriores.

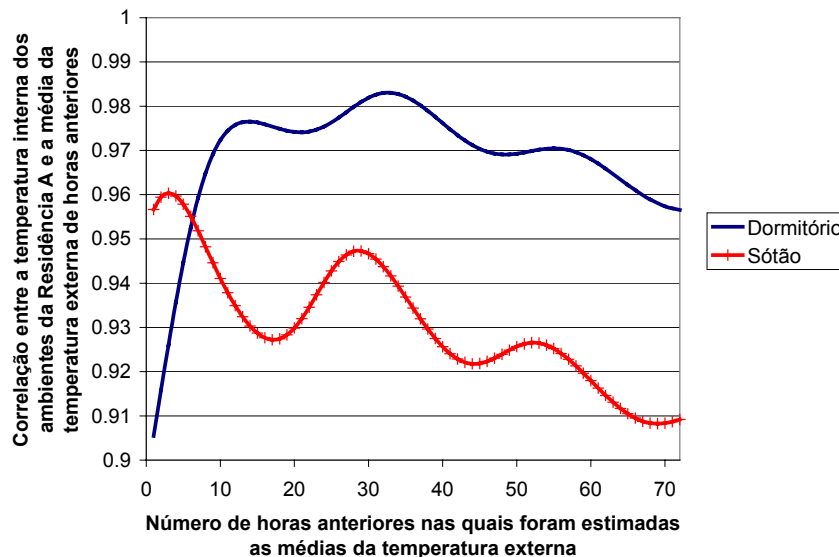


Figura 04. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência A com a média da temperatura externa de horas anteriores.

A Figura 05 mostra o correlograma da temperatura interna horária com a média da temperatura externa de horas anteriores nos ambientes da residência B.

O dormitório da residência B apresentou apenas um pico de máximo, na correlação entre a temperatura interna e a média da temperatura externa de 54 horas anteriores, enquanto a cozinha apresentou dois picos de máximo na curva da correlação entre a temperatura interna e a média da temperatura externa de horas anteriores, nos pontos de 31 e 54 horas anteriores.

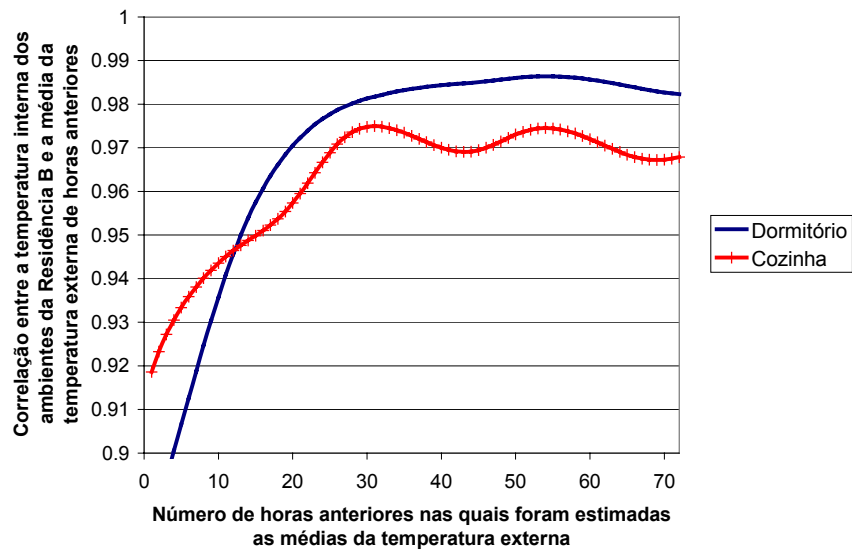


Figura 05. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência B com a média da temperatura externa de horas anteriores.

A Figura 06 mostra o correlograma da temperatura interna horária com a média da temperatura externa de horas anteriores nos ambientes da residência C.

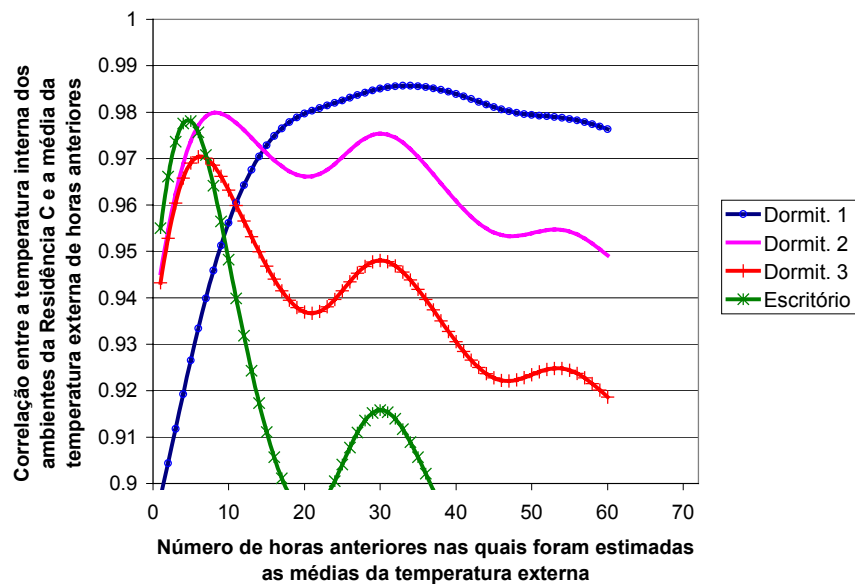


Figura 06. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência C com a média da temperatura externa de horas anteriores.

Na Figura 06, o dormitório 1 da residência C apresentou apenas um pico de máximo na curva da correlação entre a temperatura interna e a média da temperatura externa de horas anteriores, e este pico ocorreu na média da temperatura externa de 33 horas anteriores. Se for considerado o limite mínimo aceitável no valor da correlação de 0,9, o escritório da residência C apresenta apenas dois picos de máximo na curva de correlação entre a temperatura interna e a média da temperatura externa de horas anteriores, a 5 e 30 horas anteriores. O dormitório 2 e o dormitório 3 apresentaram 3 picos de máximo na curva do correlograma. No dormitório 2 o primeiro pico de máximo ocorreu na média da temperatura externa de 8 horas anteriores, e no dormitório 3 o primeiro pico foi na média da temperatura externa de 6 horas anteriores. No dormitório 2 e no dormitório 3, o segundo e o terceiro pico de máximo ocorreram na média da temperatura externa de 30 e 53 horas anteriores respectivamente.

Verifica-se que ambientes com maior inércia térmica, como o dormitório e a cozinha da residência B (Figura 05), e o dormitório 1 da residência C (Figura 06), apresentaram correlação forte com a média da temperatura externa de um número de horas anteriores superior aos ambientes com menor inércia térmica, como o sótão da residência A (Figura 04), o dormitório 3 e escritório da residência C (Figura 06). O dormitório e a cozinha da residência B e o dormitório 1 da residência C estavam ocupados, e apresentaram correlação forte com a média da temperatura externa de um número de horas anteriores superior aos ambientes como o dormitório da residência A, e o dormitório 2 da residência B, que estavam desocupados. Nos ambientes com maior inércia térmica e ocupados, o pico de máximo na correlação entre a temperatura interna horária e a média da temperatura externa ocorreu num período superior a 30 horas anteriores, período este, que leva em consideração a temperatura média de todo um dia anterior. Ambientes desocupados apresentaram forte correlação com a média da temperatura externa de um período máximo de 14 horas anteriores. Nos ambientes com menor inércia térmica, a mais forte correlação da temperatura interna e externa ocorreu com a média da temperatura externa de um período máximo de 6 horas anteriores.

O dormitório da residência B e o dormitório 1 da residência C estavam ocupados durante o período da medição, e apresentaram apenas um pico de máximo no correlograma. Os outros ambientes apresentaram dois ou três picos de máximos nas curvas do correlograma, correspondendo normalmente cada pico a um período de 24 horas posterior ao primeiro pico de máximo na curva. Tanto o dormitório da residência B quanto o dormitório 1 da residência C são orientados à norte e têm ocupação predominantemente noturna. Os outros ambientes têm ganhos de calor, externos ou internos, que se repetem diariamente. O dormitório da

residência A foi o único ambiente para o qual o valor da correlação do primeiro pico de máximo ($R=0,984$) foi um pouco mais fraco do que o segundo pico de máximo ($R=0,991$).

A Figura 07 mostra o correlograma da temperatura interna horária com a média da radiação solar de horas anteriores dos ambientes da residência A. A correlação (R) entre a temperatura interna horária e a média da radiação solar de horas anteriores alcançou valores de 0,8, o que corresponde a um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,64. Isso significa que a média da radiação solar de horas anteriores numa equação de regressão explicaria 64% da variação da temperatura interna. Na Figura 07 percebe-se que existe uma tendência do valor da correlação ficar mais forte quanto maior o número de horas usados para calcular a média da radiação solar de horas anteriores. Porém essa tendência tende a ser pouco alterada a partir da média da radiação solar de 96 horas anteriores (4 dias). Os picos de máximos nos valores de correlação costumam ocorrer no período de 24 em 24 horas.

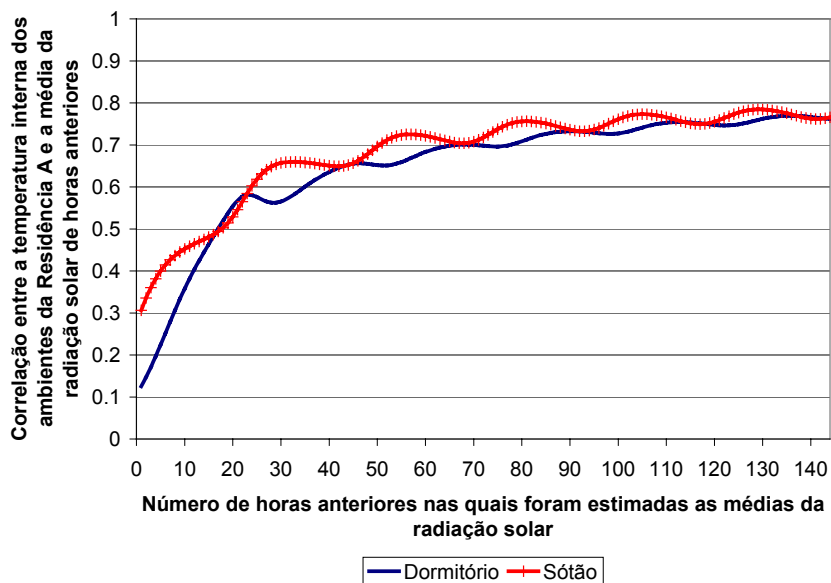


Figura 07. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência A com a média da radiação solar de horas anteriores.

A Figura 08 é o correlograma da temperatura interna horária com a média da radiação solar de horas anteriores dos ambientes da residência B. Na Figura 08 percebe-se que o valor da correlação fica mais forte quanto maior o número de horas usados para calcular a média da radiação solar de horas anteriores. Esta tendência tende a se estabilizar a partir da média da radiação solar de 120 horas anteriores (5 dias), e a correlação não alcança valor superior a 0,8.

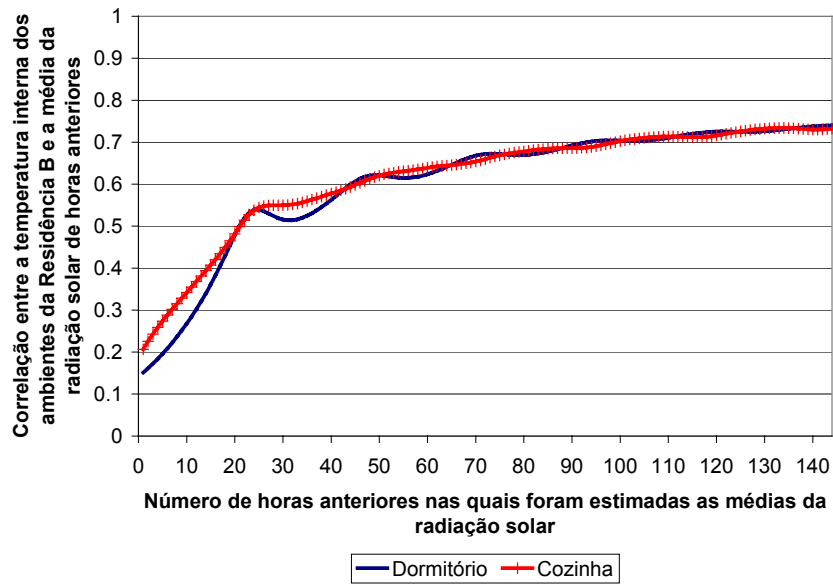


Figura 08. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência B com a média da radiação solar de horas anteriores.

A Figura 09 é o correlograma da temperatura interna horária com a média da radiação solar de horas anteriores dos ambientes da residência C.

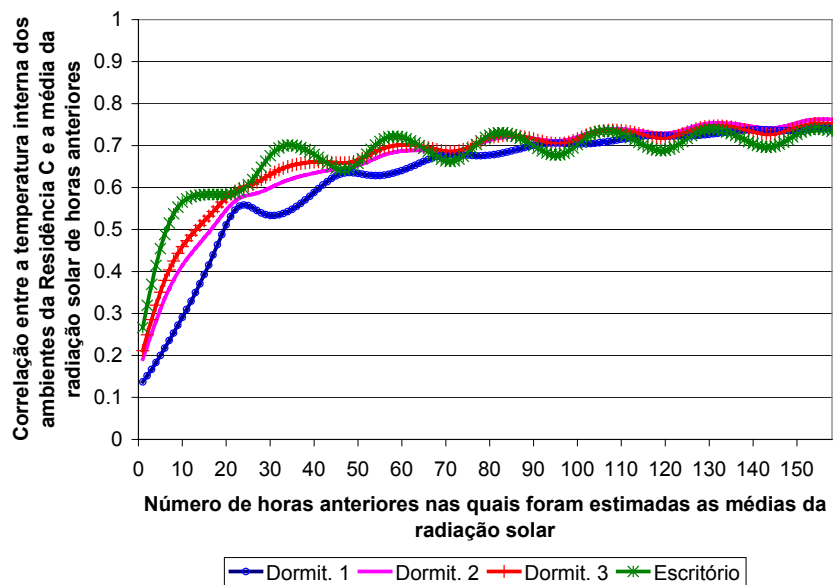


Figura 09. Correlograma da temperatura interna horária dos ambientes da Residência C com a média da radiação solar de horas anteriores.

Na Figura 09 percebe-se que a tendência do valor da correlação fica mais forte quanto maior o número de horas usados para calcular a média da radiação solar de horas anteriores ocorre no dormitório 1, no dormitório 2 e no dormitório 3. Mas esta tendência tende a ser pouco alterada a partir da média da radiação solar de 96 horas anteriores (4 dias) nestes três dormitórios. No escritório, os picos de máximos nos valores de correlação costumam ocorrer no período de 24 em 24 horas logo a partir das 36 horas, e com valores muito próximos no coeficiente de correlação. O valor máximo para a correlação da temperatura interna dos ambientes da residência C com a média da radiação solar de horas anteriores não alcançou o valor de $R=0,80$.

Observou-se em todos os ambientes que a correlação entre a temperatura interna horária com a média da temperatura externa de horas anteriores foi mais forte do que a correlação da temperatura interna horária com a média da radiação solar de horas anteriores. Portanto estimativas da temperatura interna a partir da externa representam melhores resultados do que estimativas a partir da radiação solar.

4.2 Estimativa da temperatura interna em base horária

Para verificar a possibilidade de estimar a temperatura interna a partir de dados climáticos disponíveis, utilizou-se a ferramenta estatística da análise de regressão simples e multivariada.

As variáveis analisadas foram:

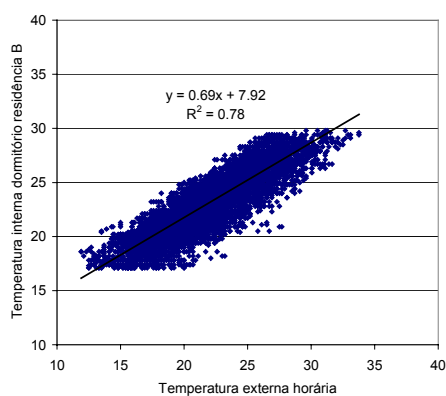
- Variável dependente: temperatura interna horária, T_{ih} (°C)
- Variáveis independentes: média da temperatura externa de horas anteriores, T_{ehm} (°C) e média da radiação solar de horas anteriores, Rad_{hm} (Wm^{-2}), que apresentaram a mais forte correlação com a temperatura interna horária (Tabela 7).

A Tabela 7 mostra o número de horas anteriores na qual foi estimada a média da temperatura externa que apresentou o primeiro pico de máximo na curva da correlação com a temperatura interna horária dos oito ambientes analisados. Também é mostrado o número de horas anteriores na qual foi estimada a média da radiação solar que apresentou o pico de máximo na curva da correlação com a temperatura interna horária, a partir do momento que os valores da correlação tenderam a se estabilizar.

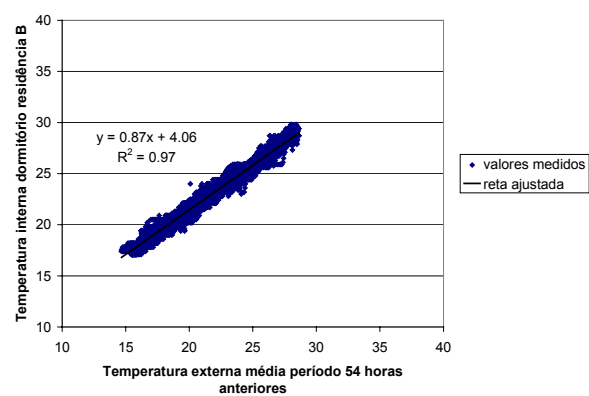
Tabela 7. Número de horas anteriores na qual foi estimada a média da temperatura externa e a média da radiação solar que apresentaram mais forte correlação com a temperatura horária interna.

Ambiente	Número de horas anteriores na qual se estimou a média da temperatura externa do primeiro pico de máximo com mais forte correlação com a temperatura interna horária	Número de horas anteriores na qual se estimou a média da radiação solar do primeiro pico de máximo com mais forte correlação com a temperatura interna horária
Residência A		
Dormitório	14	113
Sótão	03	105
Residência B		
Dormitório	54	144
Cozinha	31	133
Residência C		
Dormitório 1	33	141
Dormitório 2	08	132
Dormitório 3	06	132
Escritório	05	58

A Figura 10 refere-se às temperaturas do dormitório da residência B. Pode-se observar a dispersão dos pontos ao se correlacionar as temperaturas interna e externa na mesma hora, e a dispersão dos pontos ao se correlacionar a temperatura interna horária com a média da temperatura externa de 54 horas anteriores, que foi o ponto que apresentou o mais forte coeficiente de correlação nesse caso específico.



(a)



(b)

Figura 10. Gráficos da temperatura interna horária do dormitório da residência B com a temperatura externa na mesma hora (a) e com a média da temperatura externa de 54 horas anteriores (b).

Na Figura 10 fica claro que a temperatura interna horária do dormitório da residência B se correlaciona mais fortemente com a média da temperatura externa de 54 horas anteriores do que com a temperatura externa horária, sendo que o coeficiente de determinação das retas (R^2) passou de 0,78 para 0,97.

A Figura 11 apresenta a diferença na dispersão dos pontos correlacionando-se a temperatura interna e externa na mesma hora, e correlacionando-se a temperatura interna horária com a média da temperatura externa de 5 horas anteriores no escritório da residência C. A Figura 11 mostra que as temperaturas internas do escritório da residência C têm uma forte correlação com a temperatura externa horária, mas esta correlação fica mais forte quando se usa a média da temperatura externa de 5 horas anteriores no lugar da temperatura horária, passando o coeficiente de determinação da reta (R^2) de 0,91 para 0,96.

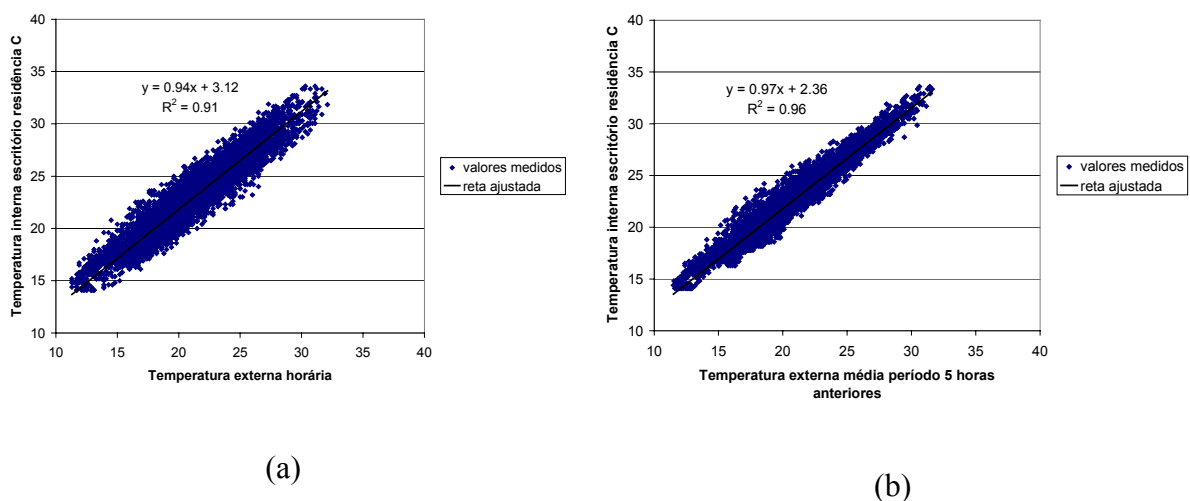


Figura 11. Gráficos da temperatura interna horária do escritório da residência C com a temperatura externa horária (a) e com a média da temperatura externa de 6 horas anteriores (b).

O ambiente com maior inércia térmica, dormitório da residência B (Figura 10), apresenta uma maior dispersão da temperatura interna horária com relação à temperatura externa na mesma hora do que o ambiente com menor inércia térmica, o escritório da residência C (Figura 11). O R^2 da equação de regressão do dormitório da residência B é de 0,78 contra um R^2 de 0,91 da equação de regressão do escritório da residência C. Mas quando se usa a média da temperatura externa de horas anteriores com mais forte correlação, a dispersão de pontos do ambiente com maior inércia térmica foi praticamente igual à dispersão de pontos do ambiente com menor inércia térmica. Nos oito ambientes estudados, a utilização da média da temperatura externa de horas anteriores melhorou a correlação.

Foram feitas duas análises de regressões por ambiente, a primeira, onde as variáveis independentes eram a média da temperatura externa de horas anteriores e a média da radiação solar de horas anteriores, e outra onde a variável independente era somente a média da temperatura externa de horas anteriores. Os resumos estatísticos das análises de regressões feitas com os dados anuais horários para todos os ambientes das três residências de Florianópolis são apresentados no Apêndice C. Todas as equações apresentaram $F_{\text{calculado}}$ superior ao $F_{\text{crítico}}$ tabelado ($F_{2,\infty} = 3,00$ e $F_{1,\infty} = 3,84$), com isto, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes. Para um nível de 95% de confiança, o $t_{\text{crítico}}$ é de 1,96, e todos os coeficientes parciais de regressão apresentaram valor de t superior ao $t_{\text{crítico}}$. Nos resumos estatísticos das análises de regressão apresentados no Apêndice C, o valor-P indica que tanto a temperatura externa quanto a radiação solar têm mais de 99% de confiança em serem adotadas para o cálculo da temperatura interna.

A Tabela 8 mostra as equações de regressões, seus coeficientes de determinação (R^2), e o erro padrão resultantes para cada ambiente. Nas equações da Tabela 8, a variável média da temperatura externa de horas anteriores - T_{ehm} ($^{\circ}\text{C}$) e a média da radiação solar de horas anteriores - Rad_{hm} (Wm^{-2}) têm o subscrito “m” seguido do número de horas anteriores utilizados para estimar a média em ambos os casos. Também observa-se através da Tabela 8 que todas as equações de regressão apresentaram forte coeficiente de determinação ($R^2 > 0,9$).

Valores horários de radiação solar são informações obtidas de estações meteorológicas, porém nem todas as estações possuem equipamentos para fazer a medição desta variável. Por outro lado, a retirada da radiação solar das equações de regressão não alterou significativamente o R^2 das retas, portanto a hipótese de utilizar apenas a temperatura externa como variável independente, além de simplificar o método, não piora significativamente os resultados encontrados. O sótão da residência A foi o ambiente que apresentou maior variação no valor de R^2 devido à retirada da radiação solar da equação de regressão, passando o R^2 de 0,95 da equação com radiação solar para um R^2 de 0,92 na equação sem radiação solar, e o valor do erro padrão variou $0,2^{\circ}\text{C}$.

O sótão da residência A também apresentou o maior valor do erro padrão nas equações de regressão sem radiação solar, $1,16^{\circ}\text{C}$. O dormitório da residência B e o dormitório 1 da residência C foram os ambientes com menor valor do erro padrão, próximo a $0,50^{\circ}\text{C}$.

Tabela 8. Equações de regressão por ambiente para determinação da temperatura interna usando como variáveis independentes a média da temperatura externa de horas anteriores T_{ehm} (°C) e média da radiação solar de horas anteriores - Rad_{hm} (Wm^{-2}).

Equação	R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Dormitório - residência A			
$T_{ih} = 0,90T_{ehm14} + 0,0073Rad_{hm113} + 1,48$	0,96	0,68	109088,0
$T_{ih} = 1,00T_{ehm14} + 0,67$	0,96	0,77	171612,1
Sótão - residência A			
$T_{ih} = 0,90T_{ehm03} + 0,0127Rad_{hm105} + 0,62$	0,95	0,97	71152,2
$T_{ih} = 1,06T_{ehm03} - 0,59$	0,92	1,16	96934,5
Dormitório – residência B			
$T_{ih} = 0,84T_{ehm54} + 0,0021Rad_{hm144} + 4,32$	0,97	0,48	149395,8
$T_{ih} = 0,87T_{ehm54} + 4,06$	0,97	0,49	291142,3
Cozinha – residência B			
$T_{ih} = 0,76T_{ehm31} + 0,0030Rad_{hm133} + 5,95$	0,96	0,60	85240,2
$T_{ih} = 0,80T_{ehm31} + 5,60$	0,95	0,61	163060,2
Dormitório 1 – residência C			
$T_{ih} = 0,85T_{ehm33} + 0,0023Rad_{hm141} + 4,30$	0,97	0,51	146100,8
$T_{ih} = 0,88T_{ehm33} + 4,07$	0,97	0,52	281037,7
Dormitório 2 – residência C			
$T_{ih} = 0,85T_{ehm08} + 0,0055Rad_{hm132} + 3,13$	0,97	0,64	115856,0
$T_{ih} = 0,92T_{ehm08} + 2,65$	0,96	0,69	199001,6
Dormitório 3 – residência C			
$T_{ih} = 0,83T_{ehm06} + 0,0057Rad_{hm132} + 4,62$	0,95	0,78	75182,4
$T_{ih} = 0,90T_{ehm06} + 4,15$	0,94	0,82	135248,0
Escritório – residência C			
$T_{ih} = 0,90T_{ehm05} + 0,0051Rad_{hm58} + 2,97$	0,96	0,70	109702,9
$T_{ih} = 0,97T_{ehm05} + 2,36$	0,96	0,76	185620,2

A seguir será mostrada uma análise dos dois ambientes com maior e menor diferença das equações de estimativa com e sem radiação solar, o sótão da residência A e o dormitório da residência B.

A Figura 12 mostra dois gráficos de dispersão de pontos da relação entre as temperaturas internas horárias medidas e as temperaturas internas horárias estimadas no sótão da residência A. No primeiro gráfico as temperaturas foram estimadas usando a equação de regressão com a variável da radiação solar e no outro gráfico as temperaturas foram estimadas a variável da radiação solar. Percebe-se pela Figura 12 que a equação de estimativa usando apenas a média da temperatura externa de horas anteriores para estimar a temperatura interna horária do sótão da residência A, apresentou uma dispersão de pontos um pouco maior que a equação de estimativa usando também a média da radiação solar de horas anteriores.

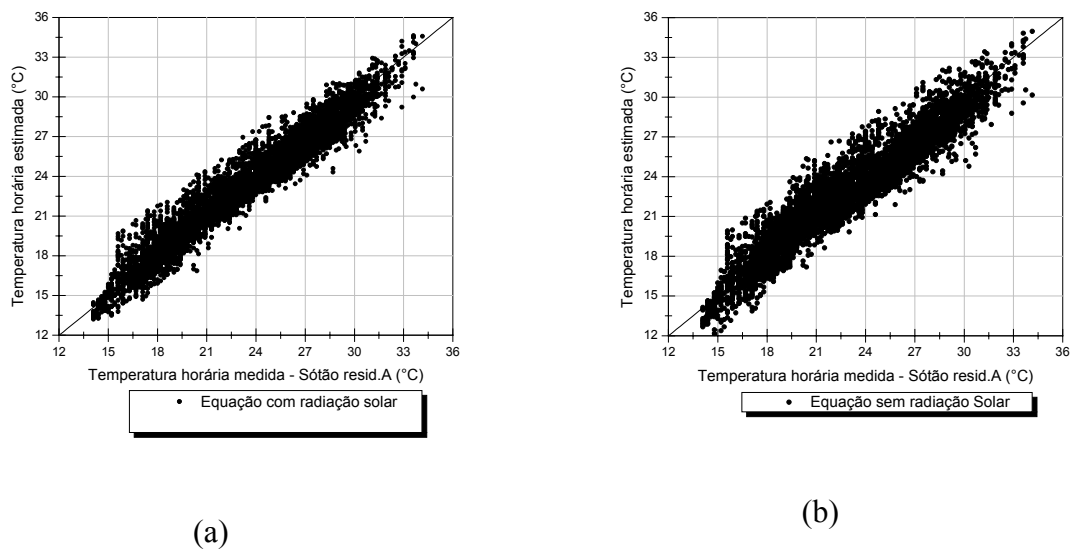


Figura 12. Gráfico de dispersão para comparação das equações estimativas com (a) e sem radiação solar (b) da temperatura interna horária do sótão da residência A, período de abril de 1998 a março de 1999.

A Figura 13 mostra as temperaturas horárias estimadas para o sótão da residência A usando as equações com e sem radiação solar, e as temperaturas internas medidas no ambiente. São apresentados 10 dias durante um mês frio, e dez dias durante um mês quente.

No sótão da residência A, durante as horas de pico da temperatura diária, a equação de estimativa da temperatura interna usando a radiação solar tendeu a apresentar valores mais próximos aos medidos do que a equação sem radiação solar. Mas, quando da estimativa das

temperaturas diárias mais baixas, a equação de estimativa da temperatura interna sem radiação solar apresentou valores mais próximos aos valores medidos. No verão, a diferença foi menor entre as equações estimativas com e sem radiação solar.

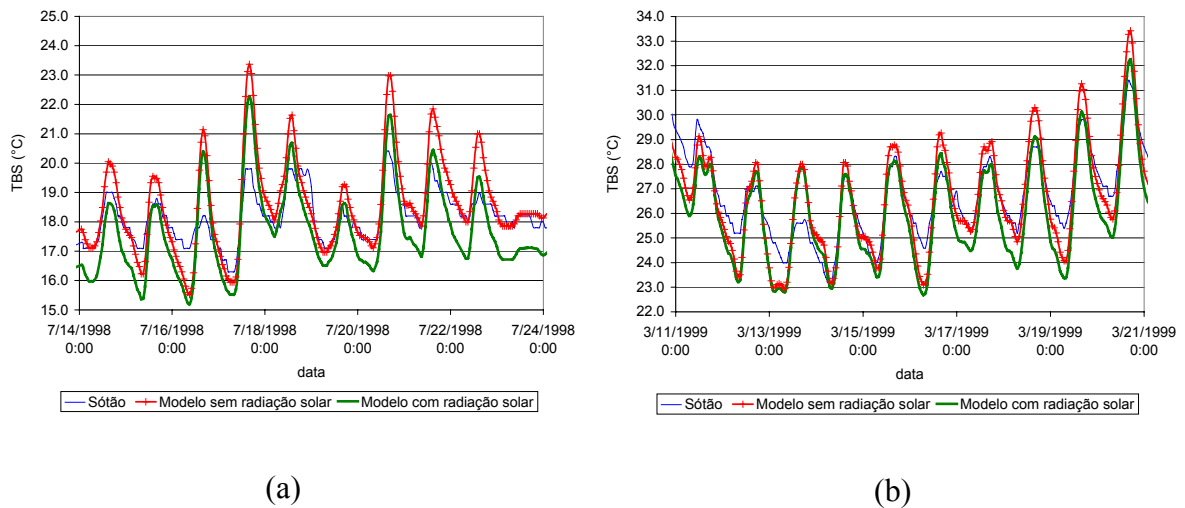


Figura 13. Gráficos de distribuição das temperaturas horárias para comparação das equações estimativas com e sem radiação solar da temperatura interna horária do sótão da residência A, durante 10 dias em julho/1998 (a) e 10 dias em março/1999 (b).

A Figura 14 mostra as temperaturas horárias estimadas para o dormitório da residência B usando as equações com e sem radiação solar, e as temperaturas internas medidas.

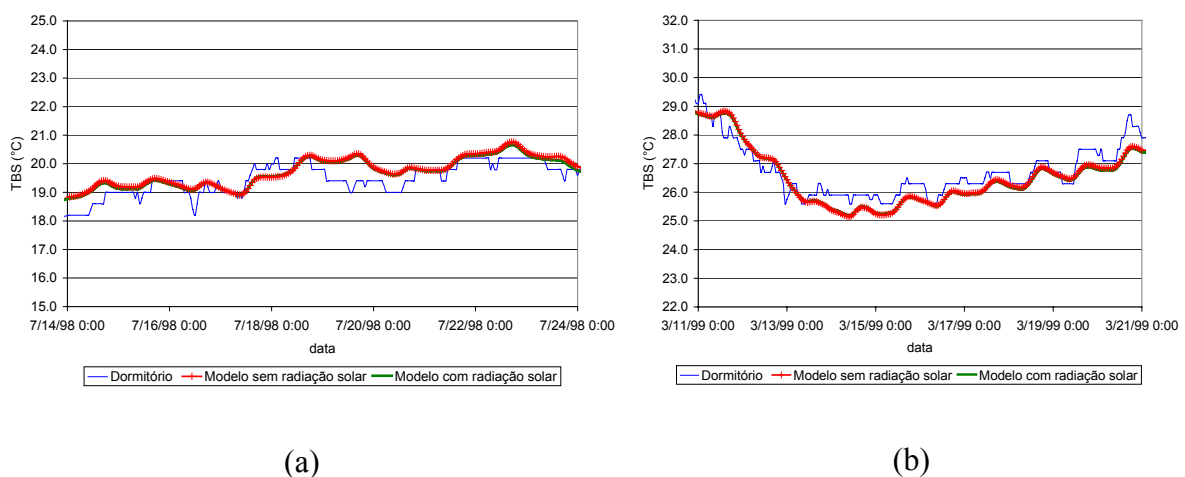


Figura 14. Gráficos de distribuição das temperaturas horárias para comparação das equações estimativas com e sem radiação solar da temperatura interna horária do dormitório da residência B, durante 10 dias em julho/1998 (a) e 10 dias em março/1999 (b).

Na Figura 14 observa-se que as equações com e sem radiação solar não apresentaram diferenças na estimativa da temperatura interna horária do dormitório da residência B, pois as curvas no gráfico praticamente se sobrepõem. Como a temperatura interna deste ambiente apresenta pequena variação, a equação estimativa usando a média da temperatura de horas anteriores faz com que os valores das temperaturas estimadas sejam próximos dos valores das temperaturas medidas internamente.

A Figura 15 mostra a frequência de ocorrência da diferença entre valores estimados e valores medidos no sótão da residência A.

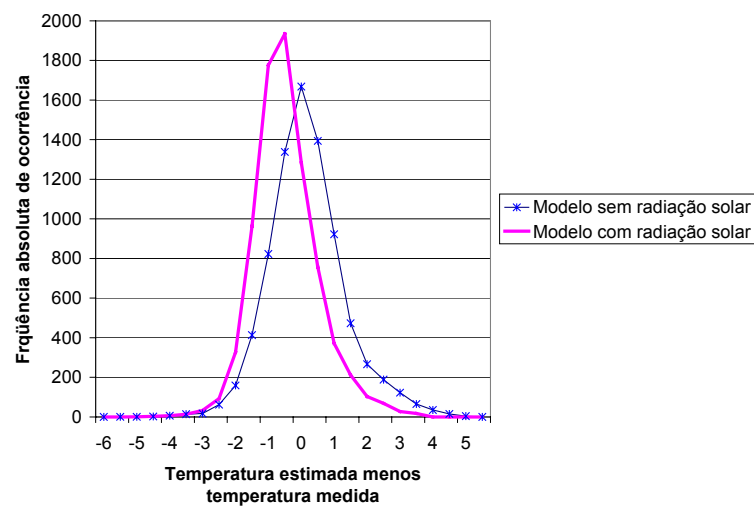


Figura 15. Gráfico de frequência da diferença entre a temperatura estimada, nas equações com e sem radiação solar, e a temperatura medida no sótão da residência A.

No caso do sótão da residência A, as duas equações de estimativa da temperatura, com e sem radiação solar, apresentaram valores superiores ou inferiores aos valores medidos, sendo que o erro máximo foi de $5,5^{\circ}\text{C}$ na equação de estimativa sem usar a radiação solar como variável independente. A diferença entre temperatura estimada pela equação sem radiação solar e a temperatura medida, apresenta uma distribuição normal com o pico máximo em zero, enquanto usando a equação de estimativa da temperatura interna que adota a radiação solar, o pico de erro ocorre na frequência de $-0,5^{\circ}\text{C}$. Este pequeno desvio no pico caracteriza o fato da equação estimativa da temperatura interna do sótão da residência A que usa a radiação solar, subestima os valores medidos no período do dia com as temperaturas mais baixas, ou seja, quando não tem radiação solar.

Não havendo a disponibilidade dos dados horários de radiação solar para uma determinada localidade, os ambientes mais influenciados pela radiação solar vão apresentar temperaturas internas estimadas superiores nos horários de pico. A diferença máxima encontrada, entre as duas equações de estimativa, no horário de pico da temperatura interna do sótão da residência A foi de 2,2°C.

As equações de regressão da Tabela 8 foram desenvolvidas com dados de um ano de medição. Mas em pesquisas de campo onde são feitas medições para avaliação do desempenho térmico, os períodos de medição usualmente são curtos, e se restringem a medições feitas em períodos representativos do ano da medição. No clima do sul do Brasil, as medições são normalmente feitas durante um mês do verão e outro do inverno. Por isso, será estudado no próximo sub-item, se equações estimativas usando apenas as temperaturas de dois meses de medição são representativas do ano todo.

4.2.1 Estimativa da temperatura interna em base horária, com apenas dois períodos de medição

A Figura 16 mostra um gráfico de variação da temperatura interna horária do dormitório da residência B com a média da temperatura externa de horas anteriores que apresentaram mais forte correlação em cada mês. Na Figura 16 também são apresentadas as retas de regressão mensais da temperatura interna a partir da média da temperatura externa de horas anteriores. Verifica-se através da Figura 16 que a utilização de dados de temperatura de um único mês, não é suficiente para que a reta de regressão daquele mês represente a tendência do ano neste ambiente.

A Figura 17 mostra um gráfico da temperatura interna horária do escritório da residência C com a média da temperatura externa de horas anteriores que apresentaram mais forte correlação em cada mês, junto com as respectivas retas de regressão. A Figura 17 representa um ambiente com pouca inércia térmica, e nota-se que a reta de regressão das temperaturas de alguns meses poderia representar a tendência anual, mas isto não é observado em todos os meses do ano.

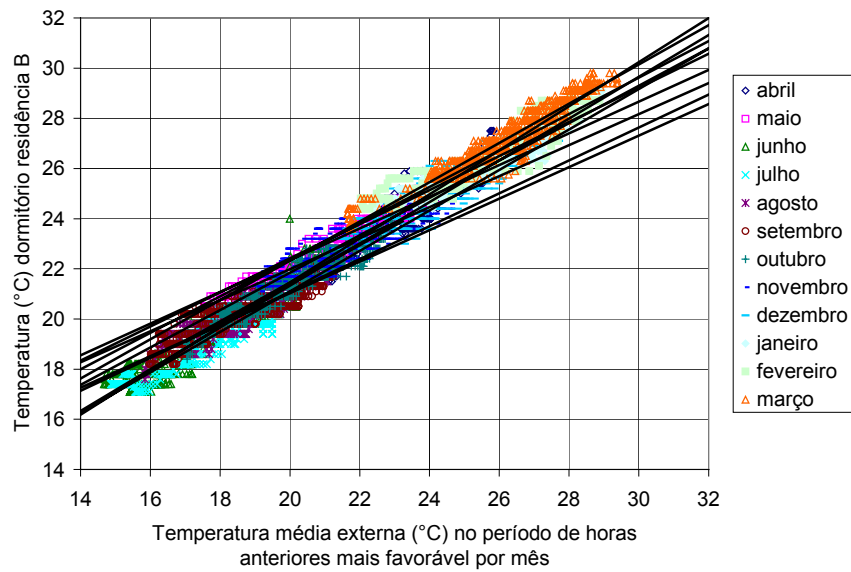


Figura 16. Retas de regressão mensais da temperatura interna horária do dormitório da residência B a partir da média da temperatura externa de horas anteriores.

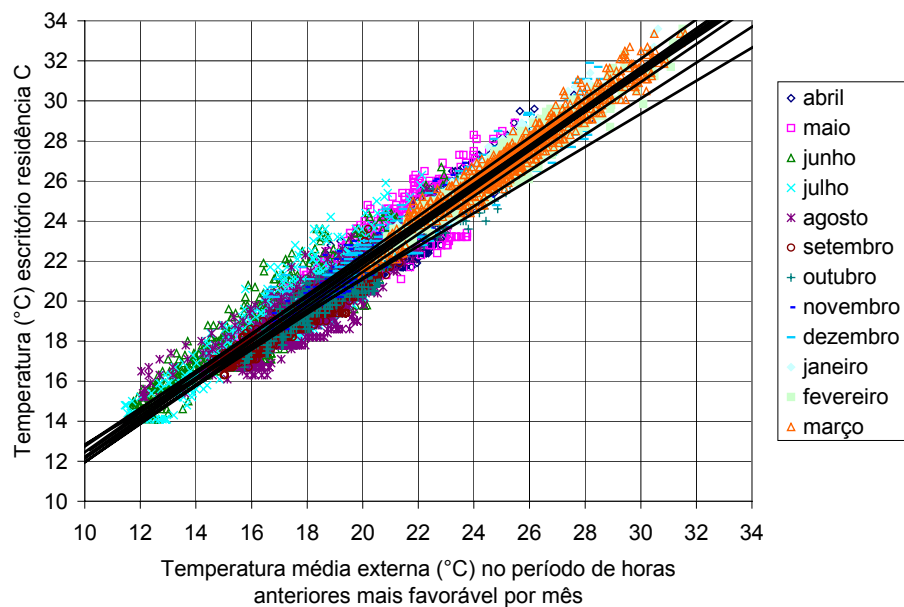


Figura 17. Retas de regressão mensais da temperatura interna horária do escritório da residência C a partir da média da temperatura externa de horas anteriores.

Como não foram obtidas correlações representativas do ano inteiro utilizando apenas um mês de dados, propõe-se utilizar os dois meses com temperaturas mais extremas para a determinação de uma correlação que seja válida anualmente.

Antes de iniciar uma medição, a escolha aleatória de dois meses do ano é descartada, pois podem estar sendo adotados meses não representativos do ano. A Figura 18 e a Figura 19 mostram como as retas de regressão feitas com os dados de temperaturas horárias mensais de dois meses com temperaturas não representativas das temperaturas extremas anuais dispersam da reta de regressão usando dados horários de todo o ano. As retas de regressão foram geradas a partir dos dados de temperaturas horárias mensais de abril mais outubro, e maio mais novembro. Estes meses foram escolhidos para exemplificação pois apresentaram temperaturas horárias amenas durante todo o mês. A Figura 18 refere-se aos dados de temperatura do dormitório da residência B, e a Figura 19 refere-se ao escritório da residência C. No escritório da residência C, a utilização de dois meses quaisquer consegue representar a tendência anual.

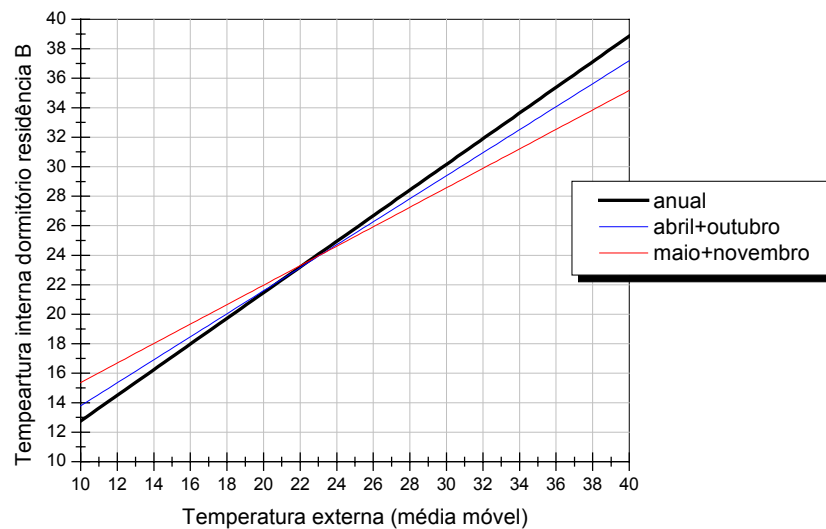


Figura 18. Retas de regressão do dormitório da Residência B, usando dados de temperaturas horárias de um ano, dados de temperaturas horárias dos meses de abril e outubro, e dados das temperaturas horárias dos meses de maio e novembro.

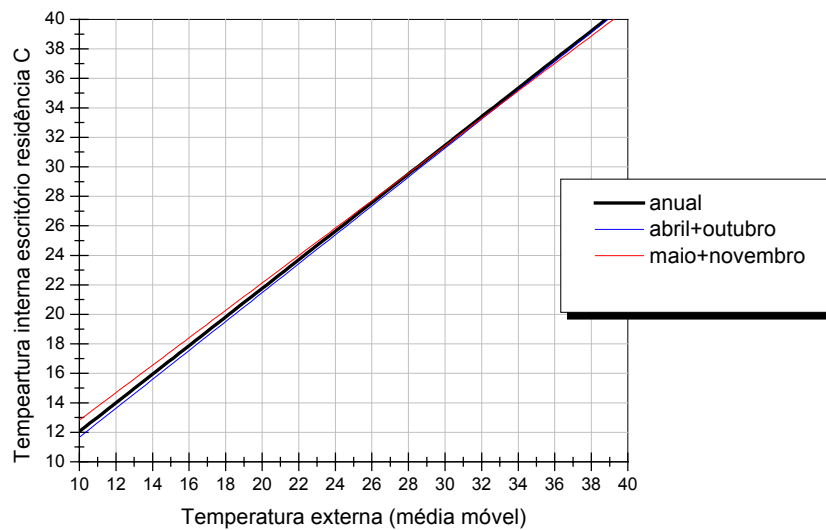


Figura 19. Retas de regressão do escritório da Residência C, usando dados de temperaturas horárias de um ano, dados de temperaturas horárias dos meses de abril e outubro, e dados das temperaturas horárias dos meses de maio e novembro.

Para poder generalizar e chegar a uma reta de regressão com dados de dois meses próxima à reta de regressão com dados anuais, deve-se utilizar os meses considerados mais quentes e mais frios. Os meses mais quentes e mais frios podem ser determinados a partir da ocorrência do dia típico de verão e inverno. No presente trabalho utilizou-se as temperaturas máximas e mínimas dos dias típicos de projeto apresentados por Goulart et al. (1997) para verificar a ocorrência de dias com temperaturas acima das temperaturas de um dia típico de verão, e dias com temperaturas abaixo de um dia típico de inverno. Um dia típico de verão de nível 5%, caracteriza o dia cuja temperatura média é excedida somente por 5% do total de dias quentes, e um dia típico de inverno de nível 5%, caracteriza um dia cuja temperatura média não é excedida por 5% dos dias frios. Durante o período de abril de 1998 a março de 1999 ocorreu um dia com temperaturas superiores a um dia típico de nível 5% de verão, e nenhum dia com temperaturas abaixo de um dia típico de nível de 5% de inverno. Por isso, adotou-se o dia típico de nível 10% para determinar os meses mais frios e mais quentes do ano.

A Figura 20 mostra a distribuição da temperatura externa durante o ano da medição junto com as temperaturas máximas e mínimas dos dias típicos de verão e inverno de nível 10%.

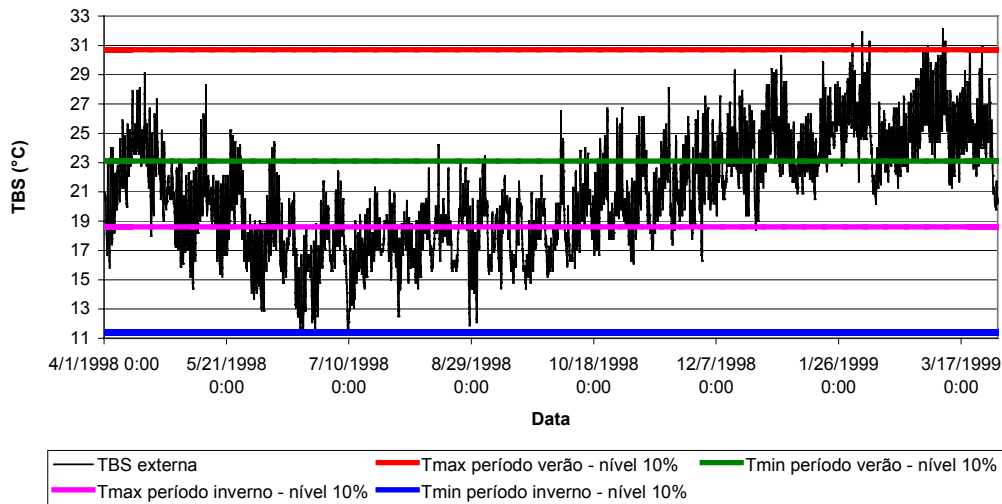


Figura 20. Distribuição da temperatura externa durante abril/1998 a março/1999 junto com as temperaturas máximas e mínimas dos dias típicos de verão e inverno de nível 10%.

Observa-se na Figura 20 que nos meses de junho, julho e agosto ocorreram dias com temperaturas externas horárias dentro da faixa da temperatura máxima e mínima do dia típico de inverno de nível 10%. Nos meses de janeiro, fevereiro e março ocorrem dias completos com temperaturas horárias externas dentro da faixa da temperatura máxima e mínima do dia típico de verão de nível 10%.

A Figura 21 mostra em destaque os meses de junho, julho e agosto, e a Figura 22 mostra em destaque os meses de janeiro, fevereiro e março.

Na Figura 21 observa-se a ocorrência de 3 dias com temperaturas abaixo do dia típico de inverno de nível 10%, e alguns dias com as temperaturas externas horárias dentro dos limites dos valores de máxima e mínima.

Na Figura 22 percebe-se que ocorreram 10 dias com temperaturas acima do dia típico de verão de nível 10%, e em alguns dias observa-se as temperaturas externas horárias dentro dos limites dos valores de máxima e mínima do dia típico de verão de nível 10%.

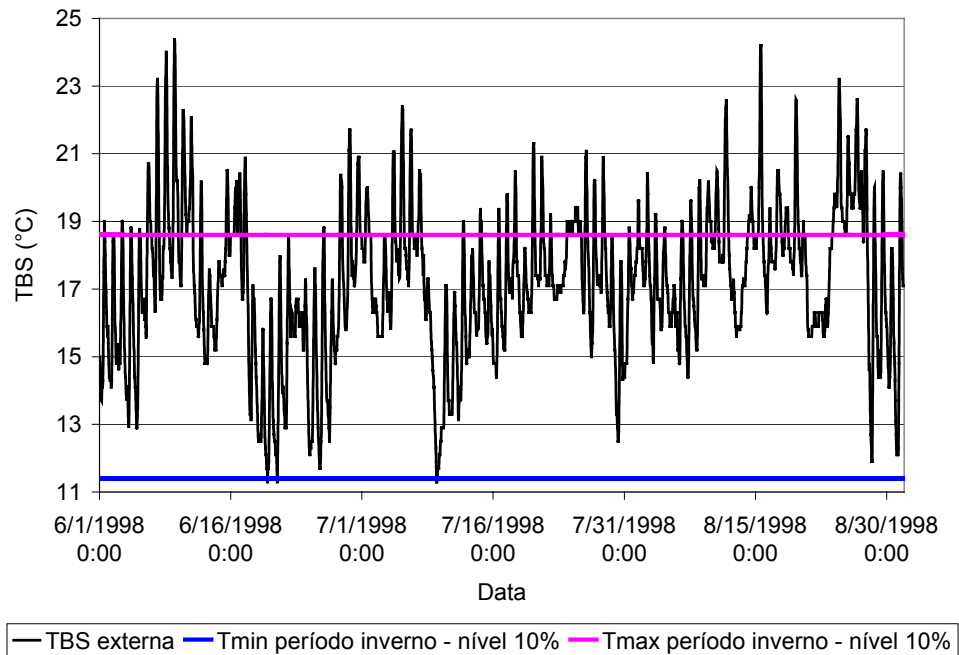


Figura 21. Distribuição da temperatura externa durante os meses de junho a agosto de 1998 junto com as temperaturas máximas e mínimas do dia típico de inverno de nível 10%.

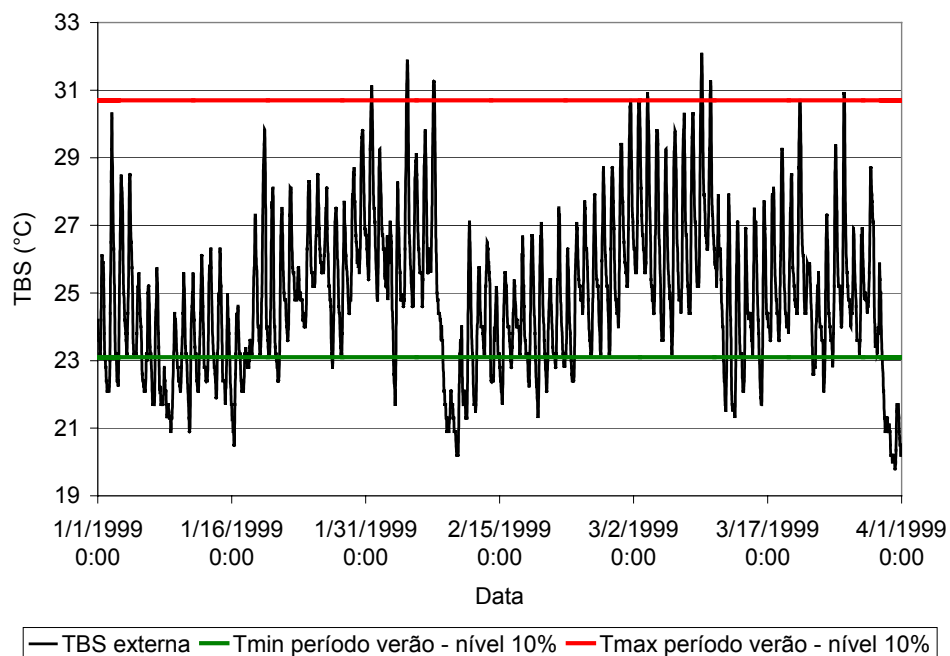


Figura 22. Distribuição da temperatura externa durante os meses de janeiro a março de 1999 junto com as temperaturas máximas e mínimas do dia típico de verão de nível 10%.

A Figura 23 refere-se ao dormitório da residência B e a Figura 24 ao escritório da residência C. Ambas mostram as retas de regressão da temperatura interna horária determinadas a partir da média da temperatura externa de horas anteriores de mais forte correlação, feitas com todos os dados do ano, e usando dados de temperaturas horárias dos meses junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois.

Percebe-se na Figura 23 e na Figura 24 que as retas de regressão das temperaturas horárias dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois foram próximas à reta de regressão usando dados de temperaturas horárias de um ano.

Os meses considerados como os mais quentes, apresentaram no mínimo dois dias com valores horários de temperatura superiores ou muito próximos aos valores de temperatura característicos do dia típico de nível de 10% de verão. Os meses ditos mais frios que foram utilizados, apresentaram no mínimo dois dias com valores horários de temperaturas inferiores, ou próximos, ao dia típico de nível de 10% de inverno, não necessariamente em seqüência.

O uso de dois meses com temperaturas características do dia típico de inverno e verão, melhorou o ajuste das retas em um ambiente com mais inércia térmica e ocupado. Já o ambiente com pouca inércia térmica e sem ocupação apresentou pequena diferença em usar dados de temperaturas horárias de dois meses quaisquer ou com dados de temperaturas horárias dos meses mais quentes e mais frios.

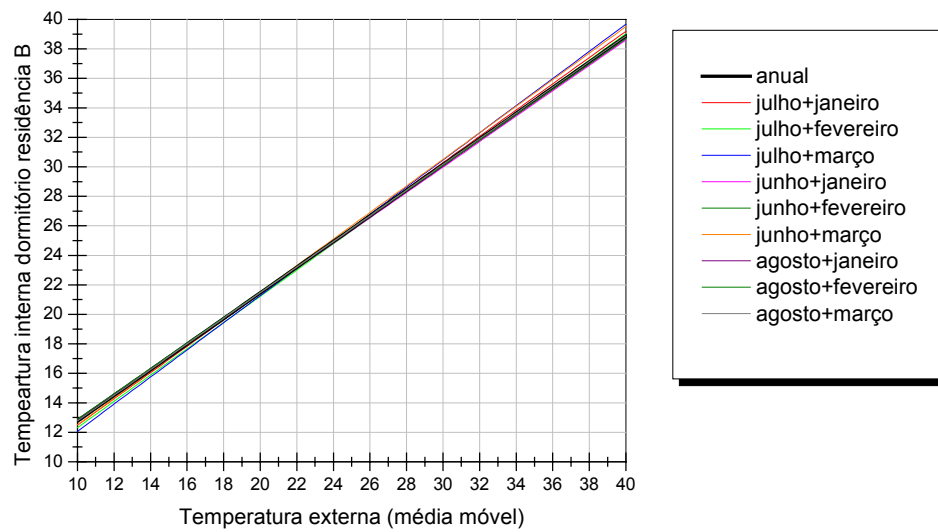


Figura 23. Retas de regressão do dormitório da Residência B, usando dados de temperaturas horárias de um ano, e dados de temperaturas horárias dos meses junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois.

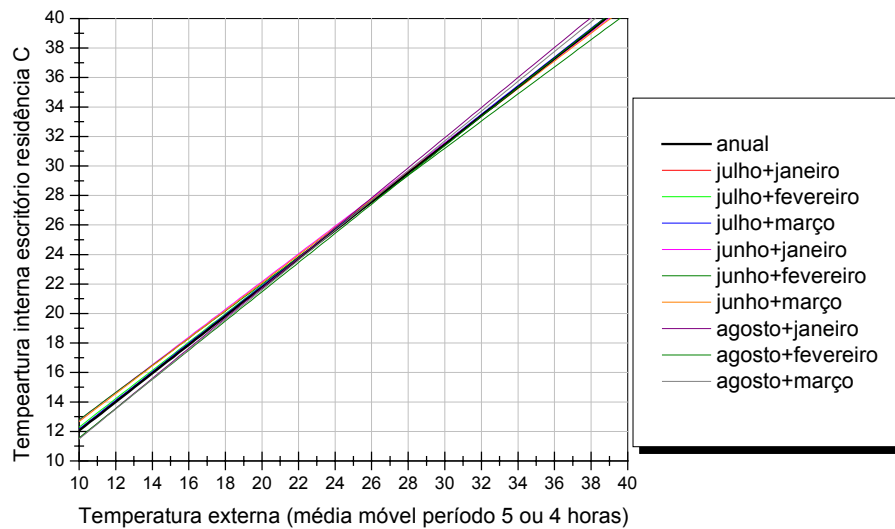


Figura 24. Retas de regressão do escritório da Residência C, usando dados de temperaturas horárias de um ano, e dados de temperaturas horárias dos meses junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois.

A Tabela 9 apresenta equações estimativas das temperaturas horárias com dados dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois, dos dois ambientes da residência A.

Tabela 9. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois - ambientes da Residência A.

Equação	R^2	Erro padrão (°C)	$F_{\text{calculado}}$	
Dormitório - residência A				
junho+janeiro	$T_{ih} = 1,07T_{ehm16} - 0,90$	0,97	0,82	44807,6
junho+fevereiro	$T_{ih} = 1,04T_{ehm15} - 0,45$	0,97	0,78	46309,8
junho+março	$T_{ih} = 1,03T_{ehm16} - 0,19$	0,97	0,79	52206,3
julho+janeiro	$T_{ih} = 1,06T_{ehm14} - 0,63$	0,97	0,72	50875,6
julho+fevereiro	$T_{ih} = 1,04T_{ehm14} - 0,25$	0,97	0,69	53414,4
julho+março	$T_{ih} = 1,02T_{ehm15} + 0,05$	0,98	0,71	58797,5
agosto+janeiro	$T_{ih} = 1,02T_{ehm14} + 0,35$	0,96	0,75	40748,7
agosto+fevereiro	$T_{ih} = 1,00T_{ehm14} + 0,73$	0,97	0,72	42043,7
agosto+março	$T_{ih} = 0,98T_{ehm15} + 0,99$	0,97	0,73	48077,3
Sótão - residência A				
junho+janeiro	$T_{ih} = 1,10T_{ehm03} - 1,39$	0,93	1,31	20614,3
junho+fevereiro	$T_{ih} = 1,09T_{ehm04} - 1,34$	0,94	1,26	21200,4
junho+março	$T_{ih} = 1,06T_{ehm05} - 0,75$	0,95	1,18	27165,7
julho+janeiro	$T_{ih} = 1,13T_{ehm03} - 1,95$	0,95	1,10	27280,4
julho+fevereiro	$T_{ih} = 1,11T_{ehm03} - 1,81$	0,95	1,04	28960,3
julho+março	$T_{ih} = 1,08T_{ehm05} - 1,09$	0,96	0,99	36091,6
agosto+janeiro	$T_{ih} = 1,09T_{ehm03} - 1,12$	0,94	1,11	22984,5
agosto+fevereiro	$T_{ih} = 1,08T_{ehm03} - 0,98$	0,94	1,06	24207,4
agosto+março	$T_{ih} = 1,04T_{ehm04} - 0,20$	0,95	1,00	30636,9

Todas as equações apresentaram $F_{\text{calculado}}$ superior ao $F_{\text{crítico}}$ tabelado ($F_{1,\infty} = 3,84$), com isto, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e a variável independente.

As equações propostas para estimativa da temperatura interna do dormitório da residência A apresentaram coeficiente de determinação mais forte e um erro padrão inferior ao do sótão, isto porque o sótão sofre a influência dos ganhos térmicos solares pela cobertura, sofrendo uma variação maior da temperatura interna se comparado ao dormitório.

A Tabela 10 apresenta as equações propostas para estimativa das temperaturas horárias do dormitório e da cozinha da residência B, usando os dados de temperaturas dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois.

Tabela 10. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois - ambientes da Residência B.

Equação	R^2	Erro padrão (°C)	$F_{\text{calculado}}$	
Dormitório - residência B				
junho+janeiro	$T_{ih} = 0,86T_{ehm55} + 4,18$	0,99	0,43	96613,1
junho+fevereiro	$T_{ih} = 0,87T_{ehm53} + 4,02$	0,98	0,49	80823,8
junho+março	$T_{ih} = 0,90T_{ehm53} + 3,51$	0,99	0,48	104451,9
julho+janeiro	$T_{ih} = 0,89T_{ehm56} + 3,56$	0,99	0,41	100573,4
julho+fevereiro	$T_{ih} = 0,89T_{ehm53} + 3,43$	0,98	0,46	82179,4
julho+março	$T_{ih} = 0,92T_{ehm53} + 2,87$	0,99	0,46	109694,7
agosto+janeiro	$T_{ih} = 0,86T_{ehm56} + 4,28$	0,98	0,39	91909,5
agosto+fevereiro	$T_{ih} = 0,85T_{ehm36} + 4,57$	0,96	0,62	38206,9
agosto+março	$T_{ih} = 0,86T_{ehm32} + 4,38$	0,97	0,60	51056,3
Cozinha - residência B				
junho+janeiro	$T_{ih} = 0,80T_{ehm31} + 5,54$	0,97	0,56	50501,2
junho+fevereiro	$T_{ih} = 0,84T_{ehm31} + 4,90$	0,97	0,65	42146,2
junho+março	$T_{ih} = 0,85T_{ehm30} + 4,69$	0,97	0,62	56396,2
julho+janeiro	$T_{ih} = 0,81T_{ehm32} + 5,15$	0,97	0,55	49156,8
julho+fevereiro	$T_{ih} = 0,85T_{ehm31} + 4,46$	0,97	0,64	40396,0
julho+março	$T_{ih} = 0,86T_{ehm31} + 4,25$	0,97	0,61	55190,4
agosto+janeiro	$T_{ih} = 0,78T_{ehm32} + 5,94$	0,96	0,57	37481,2
agosto+fevereiro	$T_{ih} = 0,83T_{ehm35} + 4,96$	0,97	0,60	40269,9
agosto+março	$T_{ih} = 0,87T_{ehm35} + 4,28$	0,97	0,60	52449,9

Todas as equações apresentaram $F_{\text{calculado}}$ superior ao $F_{\text{crítico}}$ tabelado ($F_{1,\infty} = 3,84$), com isto, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e a variável independente.

O dormitório e a cozinha da residência B apresentaram fortes coeficientes de determinação para todas as equações propostas, sendo que o menor valor encontrado foi $R^2 = 0,96$. Os erros padrão das equações estimativas propostas a estes dois ambientes da residência B foram inferiores aos erros padrão dos ambientes da residência A (Tabela 9). As equações estimativas propostas para o dormitório da residência B com os dados de temperaturas dos meses de agosto+fevereiro e agosto+março apresentaram o pico de mais forte correlação da temperatura interna com a média da temperatura externa de 36 e 32 horas anteriores, enquanto as outras equações propostas apresentaram mais forte correlação com a média da temperatura externa de 53 horas anteriores ou mais (Tabela 10).

A Tabela 11 mostra as equações estimativas das temperaturas horárias do dormitório 1 e do dormitório 2 da residência C, usando os meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois.

Todas as equações apresentaram $F_{\text{calculado}}$ superior ao $F_{\text{crítico}}$ tabelado ($F_{1,\infty} = 3,84$), com isto, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes. O dormitório 1 e o dormitório 2 da residência C apresentaram fortes coeficientes de determinação, R^2 iguais ou superiores a 0,97, para todas as equações propostas. O erro padrão das equações propostas foi maior no dormitório 2 do que no dormitório 1, alcançando um erro máximo de $0,7^\circ\text{C}$. O dormitório 1 apresentou o pico de mais forte correlação da temperatura interna com a média da temperatura externa superior a 24 horas, enquanto as equações propostas para o dormitório 2 apresentaram mais forte correlação com a média da temperatura externa de 8 e 9 horas anteriores.

Tabela 11. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois – dormitório 1 e dormitório 2 da Residência C.

Equação	R^2	Erro padrão (°C)	F _{calculado}	
Dormitório 1 - residência C				
junho+janeiro	$T_{ih} = 0,85T_{ehm33} + 4,92$	0,98	0,46	92800,5
junho+fevereiro	$T_{ih} = 0,85T_{ehm33} + 4,97$	0,98	0,49	82514,2
junho+março	$T_{ih} = 0,86T_{ehm33} + 4,68$	0,99	0,47	112465,3
julho+janeiro	$T_{ih} = 0,87T_{ehm32} + 4,40$	0,99	0,41	107955,6
julho+fevereiro	$T_{ih} = 0,87T_{ehm31} + 4,48$	0,99	0,44	94742,4
julho+março	$T_{ih} = 0,88T_{ehm32} + 4,18$	0,99	0,42	135386,4
agosto+janeiro	$T_{ih} = 0,95T_{ehm36} + 2,49$	0,98	0,51	66979,1
agosto+fevereiro	$T_{ih} = 0,94T_{ehm35} + 2,68$	0,98	0,54	60232,9
agosto+março	$T_{ih} = 0,95T_{ehm33} + 2,42$	0,98	0,51	87712,6
Dormitório 2 - residência C				
junho+janeiro	$T_{ih} = 0,94T_{ehm08} + 2,43$	0,98	0,66	58155,2
junho+fevereiro	$T_{ih} = 0,93T_{ehm08} + 2,52$	0,97	0,71	50049,5
junho+março	$T_{ih} = 0,93T_{ehm09} + 2,56$	0,98	0,70	61532,6
julho+janeiro	$T_{ih} = 0,95T_{ehm08} + 2,05$	0,98	0,57	71683,9
julho+fevereiro	$T_{ih} = 0,95T_{ehm08} + 2,16$	0,98	0,63	59652,6
julho+março	$T_{ih} = 0,94T_{ehm08} + 2,33$	0,98	0,62	72743,8
agosto+janeiro	$T_{ih} = 0,98T_{ehm08} + 1,26$	0,97	0,66	48852,1
agosto+fevereiro	$T_{ih} = 0,98T_{ehm09} + 1,30$	0,97	0,70	42606,8
agosto+março	$T_{ih} = 0,97T_{ehm09} + 1,52$	0,97	0,70	53148,6

A Tabela 12 mostra as equações das temperaturas horárias dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois, do dormitório 3 e do escritório da residência C.

Tabela 12. Equações de regressão das temperaturas horárias dos meses de junho, julho, agosto, janeiro, fevereiro e março combinados dois a dois – dormitório 3 e escritório da Residência C.

Equação	R^2	Erro padrão (°C)	$F_{\text{calculado}}$	
Dormitório 3 - residência C				
Junho+janeiro	$T_{ih} = 0,87T_{ehm06} + 5,11$	0,96	0,79	36528,8
Junho+fevereiro	$T_{ih} = 0,86T_{ehm07} + 5,17$	0,96	0,82	32730,0
Junho+março	$T_{ih} = 0,88T_{ehm06} + 5,00$	0,96	0,83	40287,8
Julho+janeiro	$T_{ih} = 0,89T_{ehm06} + 4,59$	0,96	0,75	37157,9
Julho+fevereiro	$T_{ih} = 0,88T_{ehm06} + 4,71$	0,96	0,76	35966,2
Julho+março	$T_{ih} = 0,90T_{ehm06} + 4,51$	0,97	0,79	41474,7
Agosto+janeiro	$T_{ih} = 0,99T_{ehm07} + 2,24$	0,95	0,87	28418,6
Agosto+fevereiro	$T_{ih} = 0,97T_{ehm06} + 2,51$	0,95	0,87	28150,8
Agosto+março	$T_{ih} = 0,98T_{ehm07} + 2,31$	0,96	0,90	33069,8
Equação	R^2	Erro padrão (°C)	$F_{\text{calculado}}$	
Escritório - residência C				
Junho+janeiro	$T_{ih} = 0,94T_{ehm04} + 3,36$	0,97	0,78	43554,4
Junho+fevereiro	$T_{ih} = 0,92T_{ehm04} + 3,60$	0,97	0,80	39980,9
Junho+março	$T_{ih} = 0,94T_{ehm05} + 3,28$	0,97	0,80	50204,8
Julho+janeiro	$T_{ih} = 0,97T_{ehm04} + 2,42$	0,97	0,76	43916,9
Julho+fevereiro	$T_{ih} = 0,96T_{ehm04} + 2,70$	0,97	0,78	40329,0
Julho+março	$T_{ih} = 0,97T_{ehm04} + 2,47$	0,97	0,78	50542,6
Agosto+janeiro	$T_{ih} = 1,02T_{ehm05} + 1,32$	0,97	0,73	44204,8
Agosto+fevereiro	$T_{ih} = 0,99T_{ehm05} + 1,67$	0,97	0,74	41187,6
Agosto+março	$T_{ih} = 1,01T_{ehm05} + 1,40$	0,97	0,73	53554,5

Todas as equações apresentaram $F_{\text{calculado}}$ superior ao $F_{\text{crítico}}$ tabelado ($F_{1,\infty} = 3,84$), com isto, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e a variável independente.

O escritório da residência C apresentou fortes coeficientes de determinação, R^2 igual a 0,97, enquanto o dormitório 3 apresentou R^2 igual ou superior a 0,95 nas equações propostas. Os

erros padrão das equações estimativas para o escritório e o dormitório 3 foram maiores do que o erro padrão das equações propostas para o dormitório 2 e o dormitório 1. O dormitório 3 apresentou o pico de mais forte correlação da temperatura interna com a média da temperatura externa de 6 a 7 horas anteriores, enquanto o pico de mais forte correlação da temperatura interna do escritório com a média da temperatura externa de 4 a 5 horas anteriores.

4.3 Conclusão do capítulo

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de um método para estimar a temperatura interna horária a partir da temperatura externa. Foram utilizadas temperaturas horárias medidas durante um ano em oito ambientes de três residências de Florianópolis – SC.

Verificou-se que a temperatura interna horária mantém correlação mais forte com a média da temperatura externa de horas anteriores do que com a temperatura externa na mesma hora da temperatura interna.

Equações estimativas foram determinadas, usando dados de temperaturas de todo um ano, através de análise de regressão. As equações das temperaturas internas horárias estimadas a partir da média da temperatura externa de horas anteriores foram comparadas com as equações da temperatura interna horária estimadas a partir da média da temperatura externa de horas anteriores e da média da radiação solar de horas anteriores. A diferença no erro padrão médio entre as equações estimativas com e sem radiação solar foi inferior a $0,1^{\circ}\text{C}$ em sete dos oito ambientes analisados. O sótão da residência A apresentou uma diferença entre as equações estimativas com e sem radiação solar de $0,2^{\circ}\text{C}$. Com isto, mostra-se que as equações estimativas podem ser determinadas utilizando apenas a temperatura externa, mas haverá perda de precisão na estimativa da temperatura interna em ambientes mais influenciados pela radiação solar.

Na seqüência foi verificado se as equações estimativas da temperatura interna de um ambiente poderiam ser determinadas a partir de dados de temperaturas de dois meses. Para que isso seja possível, os dois meses escolhidos devem possuir temperaturas externas de dias típicos de verão e inverno de nível 10%. Durante o período de um ano da medição ocorreram três meses com dias típicos de verão de nível 10% e três meses com dias típicos de inverno de nível 10%. Os seis meses combinados dois a dois, resultaram em nove equações estimativas da temperatura interna para cada ambiente, sendo que os resultados obtidos com qualquer uma

dessas equações foi muito semelhante ao resultado obtido com equações derivadas de valores medidos durante o ano inteiro.

Como não foi possível fazer a medição de temperaturas na Residência A durante o período de 12/07/2002 a 25/09/2002, foi feita uma avaliação das equações estimativas de todos os ambientes de todas as residências com as temperaturas medidas de abril de 1998 a março de 1999. O Apêndice A mostra esta avaliação feita com as equações estimativas para os ambientes da residência A, da residência B e da residência C.

Da avaliação apresentada no Apêndice A, percebe-se que as equações estimativas propostas para a residência A são mais representativas das temperaturas internas horárias no período quente, e menos representativas das temperaturas internas horárias no período mais frio. Isto porque no período mais frio, a edificação como um todo tende a permanecer mais fechada, e a temperatura nos ambientes internos mantêm uma fraca correlação com a temperatura externa.

Nas equações estimativas da temperatura interna da cozinha e do dormitório da residência B, o número de horas anteriores para calcular a média da temperatura externa foi superior a 30 horas. Com isto, as temperaturas horárias medidas e estimadas na residência B, apresentaram uma concordância mais forte no mês mais frio do que no mês mais quente. Isto porque a edificação tende a ser mais ventilada no período mais quente do que no período mais frio do ano, e assim, a temperatura interna horária no período mais quente tende a ser mais influenciada pela temperatura externa de um período de horas inferior a 30 horas anteriores.

Com relação aos ambientes da residência C, observa-se que o dormitório 1 e o dormitório 2 apresentaram forte concordância entre temperaturas estimadas e temperaturas medidas tanto no período quente quanto no período frio. Enquanto o dormitório 3 e o escritório apresentaram uma mais forte concordância nos meses mais quentes do que nos meses mais frios, isto porque estes ambientes tendem a permanecer mais fechados no inverno, mantendo uma mais fraca correlação com a média da temperatura externa de apenas 6 horas anteriores.

As equações estimativas desenvolvidas a partir de dois meses foram comparadas com as equações estimativas da temperatura interna desenvolvidas com dados de um ano de medição da temperatura interna e externa.

Verificou-se que as equações estimativas determinadas a partir de dois meses de medição apresentaram uma dispersão de até 17% maior do que as equações estimativas determinadas

com dados de um ano de medição. Mas os dois ambientes que tiveram os maiores valores percentuais da diferença entre as duas equações estimativas, dormitório da residência B e o dormitório 1 da residência C, apresentaram os valores absolutos mais baixos de RMSE, valores entre $0,5^{\circ}\text{C}$ a $0,6^{\circ}\text{C}$.

5 Desenvolvimento do método: Estimativa da temperatura interna máxima, média e mínima diária a partir da temperatura externa

Além da temperatura interna horária, outros parâmetros de avaliação do desempenho térmico de edificações são as temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias. Por isso, será aplicado o mesmo método de estimativa das temperaturas internas horárias, para estimar estas temperaturas. Inicialmente se verificará a correlação entre essas temperaturas e as médias da temperatura externa de dias anteriores. Com a mais forte correlação entre as variáveis internas e externas se determinará a equação de estimativa das temperaturas internas máximas, médias e mínimas a partir da temperatura externa.

5.1 Correlação entre a temperatura máxima, média e mínima interna e a temperatura externa.

A primeira análise de correlação foi feita entre as temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias, e as médias das médias das temperaturas externas de um a catorze dias anteriores, utilizando-se para isso todos os dados de um ano de medição.

A Figura 25 mostra um gráfico que apresenta a correlação entre as temperaturas máximas, mínimas e médias diárias dos ambientes da residência A e as médias das médias da temperatura externa de um a catorze dias anteriores.

Na Figura 25 percebe-se que a temperatura máxima do sótão foi o único caso que a máxima correlação verificada foi inferior a 0,98, apresentando valor máximo de $R=0,96$ com a média da temperatura externa do dia. As temperaturas internas máximas, médias e mínimas do dormitório da residência A apresentaram o pico de máximo na curva de correlação com a média das médias da temperatura externa de dois dias. A temperatura interna mínima do sótão também apresentou pico de máximo na curva da correlação com a média das médias da temperatura externa de dois dias. A temperatura interna máxima e média do sótão apresentaram correlação mais forte com a média da temperatura externa do dia. Ou seja, as temperaturas máximas e médias diárias do sótão não parecem sofrer influência da temperatura externa do dia anterior.

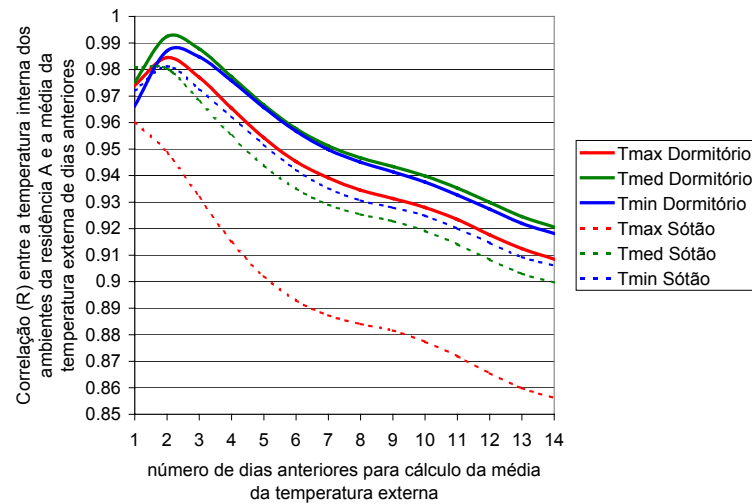


Figura 25. Correlograma das temperaturas internas diárias: máxima, médias e mínimas, do Dormitório e do Sótão da Residência A com as médias das médias da temperatura externa de 1 a 14 dias anteriores.

A Figura 26 apresenta a correlação entre as temperaturas máximas, mínimas e médias dos ambientes da residência B e as médias das médias da temperatura externa de um a catorze dias anteriores.

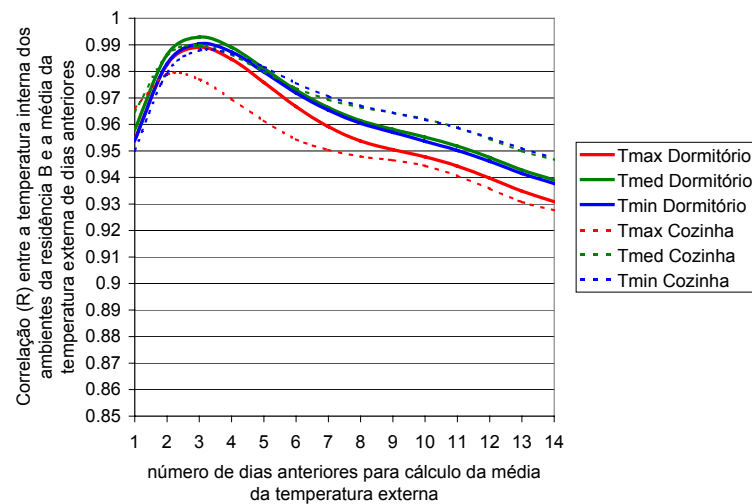


Figura 26. Correlograma das temperaturas internas diárias: máximas, médias e mínimas, do Dormitório e da Cozinha da Residência B com as médias das médias da temperatura externa de 1 a 14 dias anteriores.

Na Figura 26 observa-se que, nos ambientes da residência B todos os valores máximos das correlações entre temperaturas máximas, médias e mínimas e as médias das médias da temperatura externa de dias anteriores apresentaram valores fortes de correlação, acima de

0,98. Com exceção da temperatura máxima da cozinha, as temperaturas internas máximas, médias e mínimas dos dois ambientes da residência B, apresentaram pico de máximo na curva da correlação com a média das médias da temperatura externa de 3 dias. A temperatura máxima da cozinha apresentou pico de máximo na curva de correlação com a média das médias da temperatura externa de dois dias.

A Figura 27 apresenta as correlações entre as temperaturas máximas, médias e mínimas dos ambientes da residência C e as temperaturas médias das médias das temperaturas externa de até catorze dias anteriores. Observa-se que o dormitório 1 apresentou o pico de máximo na curva da correlação entre as temperaturas internas e a média das médias da temperatura externa de dois dias anteriores. O dormitório 2 e o dormitório 3 apresentaram o pico de máximo entre a correlação da temperatura interna máxima e a temperatura externa média do dia, enquanto os picos de máximos das temperaturas internas média e mínima, ocorreram com a média das médias da temperatura externa de dois dias. O escritório apresentou picos de máximos na curva de correlação da temperatura interna máxima e média com a média da temperatura externa do dia, e somente a temperatura interna mínima do escritório apresentou pico de máximo com a média das médias da temperatura externa de dois dias.

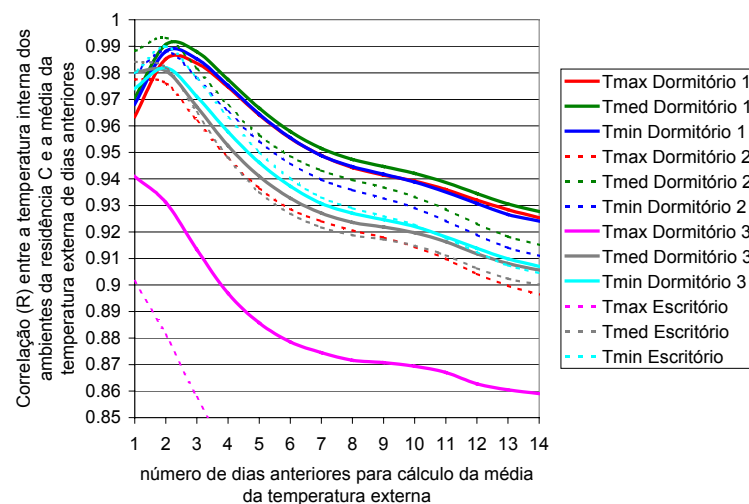


Figura 27. Correlograma das temperaturas internas diárias: máximas, médias e mínimas, do Dormitório 1, Dormitório 2, Dormitório 3 e do Escritório da Residência C com as médias das médias da temperatura externa de 1 a 14 dias anteriores.

Quase todos os valores máximos das correlações apresentadas na Figura 27 apresentaram $R \geq 0,98$, ou seja, forte correlação. O maior valor da correlação entre a temperatura máxima interna do dormitório 3 e a temperatura média externa do dia foi de 0,94, e entre a temperatura

máxima do escritório e a temperatura média externa do dia, o máximo valor foi de 0,90. O dormitório 3 e o escritório apresentaram uma correlação fraca entre a temperatura máxima interna e a média das médias da temperatura externa. Para tentar melhorar a correlação, verificou-se a correlação entre a temperatura máxima interna destes dois ambientes e a média das máximas da temperatura externa.

A Figura 28 apresenta as correlações entre as temperaturas máximas do dormitório 3 e do escritório da residência C e a média das máximas da temperatura externa de 1 a cinco dias anteriores. Tanto o dormitório 3 quanto o escritório apresentaram correlação mais forte entre a temperatura máxima interna e a média das máximas da temperatura externa, do que a correlação entre a temperatura máxima interna e a média das médias da temperatura externa.

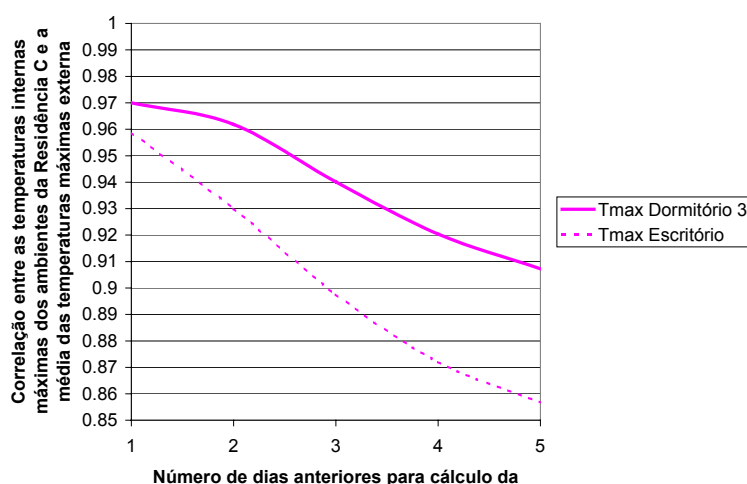


Figura 28. Correlograma das temperaturas internas máximas diárias do Dormitório 3 e do Escritório da Residência C com a média das máximas da temperatura externa de 1 a 5 dias anteriores.

No caso do sótão da residência A, o valor da correlação da temperatura máxima interna diária e da média das máximas da temperatura externa foi mais fraco do que o valor da correlação da temperatura máxima interna com a média das médias da temperatura externa de dias anteriores.

5.2 Análise de regressão para estimar as temperaturas internas máximas, médias e mínimas

A ferramenta estatística adotada para estimar a temperatura máxima, mínima e média foi análise de regressão simples. As variáveis analisadas foram:

- Variáveis dependentes: temperatura interna máxima diária, T_{imx} (°C), temperatura interna mínima diária, T_{imn} (°C), temperatura interna média diária, T_{imd} (°C).
- Variáveis independentes: média das médias da temperatura externa de dias anteriores, T_{emd} (°C) e média das máximas da temperatura externa de dias anteriores, T_{emx} (°C).

Para cada ambiente foi feita a análise de regressão simples das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias com a variável independente média das médias da temperatura externa de dias anteriores com mais forte correlação entre as duas variáveis, para cada ambiente. Para o dormitório 3 e o escritório da residência C, foram feitas análises de regressão entre a temperatura máxima interna diária e a média das máximas da temperatura externa de dias anteriores.

5.2.1 Estimativa da temperatura interna máxima, mínima e média com apenas dois períodos de medição

Para estimar as temperaturas internas máximas, mínimas e médias diárias também foram adotados os meses mais frios do período analisado, junho, julho e agosto, combinados com os meses mais quentes do mesmo período, janeiro, fevereiro e março.

Após determinar qual a variável independente a ser adotada, a análise de regressão foi utilizada para determinar as equações estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas para cada ambiente. O Apêndice D mostra as equações resultantes para estimativa das temperaturas internas diárias a partir da média da temperatura externa de dias anteriores com mais forte correlação, dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois. A tabela do Apêndice E mostra o número de dias anteriores para cálculo da temperatura média das médias externas que apresentaram o maior valor de correlação para as temperaturas máximas, médias e mínimas por ambiente e por combinação de dois meses. O Apêndice D apresenta ainda o R^2 , o erro padrão e o valor da estatística F para cada uma das equações de regressão. Todas as equações apresentaram $F_{calculado}$ bem superior ao $F_{crítico}$ tabelado ($F_{1,60} = 4,00$), com isto, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes. Em apenas 29 das 234 equações de regressão (assinaladas com “*” no Apêndice D) não se pode afirmar com 95% de confiança que o valor do coeficiente linear deveria ser adotado. No caso crítico, chega-se a um valor-P (índice decrescente da confiabilidade de um resultado) de 97% na equação de junho+março do dormitório da residência A. A não utilização do coeficiente linear nas equações corresponderia a uma

temperatura interna nula para uma temperatura externa de 0°C, o que se sabe não é real devido aos ganhos de calor internos e à inércia térmica da edificação.

As equações estimativas das temperaturas máximas diárias do escritório e do dormitório 3 da residência C usando como variáveis independentes a média das máximas da temperatura externa de dias anteriores, apresentaram R^2 mais forte do que as equações estimativas usando a média das médias da temperatura externa de dias anteriores.

Em geral, a equação proposta para a determinação da temperatura máxima interna diária apresenta um número de dias da média das médias da temperatura externa igual ou inferior ao período de dias para determinação das temperaturas internas médias diárias e mínimas diárias. E as equações estimativas das temperaturas mínimas diárias (exceto em duas equações do dormitório 3 da residência C, meses de junho+fevereiro e julho+fevereiro) apresentaram como variável independente a média das médias da temperatura externa igual ou superior a dois dias. Isto ocorre porque a temperatura máxima interna diária do ambiente é influenciada mais fortemente pela temperatura externa (ampla ventilação dos ambientes durante o dia e ganho de calor solar) e com isso tem uma maior variação do seu valor de um dia para outro. Já as temperaturas internas médias diárias e mínimas diárias dos ambientes são amenizadas pela inércia térmica do ambiente, e com isso, a variação do valor destas temperaturas dia após dia não é tão acentuada. As temperaturas internas médias diárias e mínimas diárias dos ambientes seguem mais a tendência de uma média das médias da temperatura externa de um período superior a um dia, onde a média destes valores também é amenizada.

O dormitório da residência B foi o único ambiente que apresentou todas as equações para estimativa da temperatura máxima interna com melhor correlação com a variável independente de um período de três dias da média das médias da temperatura externa. Em cinco das nove equações de estimativa da temperatura máxima interna da cozinha da residência B, a melhor correlação foi também com o período de três dias da média das médias da temperatura externa. Os outros ambientes das outras duas residências apresentaram equações de estimativa da temperatura máxima interna com melhor correlação com a média das médias da temperatura externa de um ou dois dias. Esta forte correlação da temperatura máxima interna diária com a média de três dias da temperatura externa nos ambientes da residência B, são explicados pela maior inércia térmica desta edificação do que os ambientes monitorados nas outras duas residências.

No Apêndice B, as temperaturas externas do período de abril de 1998 até março de 1999 foram aplicadas nas equações para estimar as temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias. Os valores estimados das temperaturas internas diárias foram comparados com os valores reais medidos através do MBE e do RMSE, para todas equações propostas e para todos os ambientes. Os cálculos do MBE e do RMSE foram feitos usando todos os dados de um ano de temperaturas medidas nos oito ambientes.

5.3 Conclusão do capítulo

As equações estimativas deste capítulo são utilizadas para determinar as temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias, a partir da temperatura média externa.

Assim como nas equações estimativas das temperaturas internas horárias, primeiro se verificou a mais forte correlação entre as temperaturas internas diárias (máximas, médias e mínimas) de oito ambientes e a média das médias da temperatura externa de dias anteriores. Em dois únicos casos, a correlação entre a temperatura máxima interna e a média das médias da temperatura externa, o valor da correlação foi inferior a 0,95. Nestes casos optou-se por utilizar a médias das máximas da temperatura externa para obter as correlações.

As equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas, dos oito ambientes monitorados, foram determinadas a partir dos dados de temperaturas anuais e das temperaturas dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois.

As temperaturas internas mínimas e médias são amenizadas pela inércia térmica da edificação e pelo gerenciamento do ambiente. Por outro lado, as temperaturas internas máximas são influenciadas pelos ganhos térmicos solares e pela ventilação do ambiente, e por isso têm relação forte com a média da temperatura externa do mesmo dia.

No Apêndice B, as temperaturas medidas durante um ano nas três residências serviram para comparar as equações estimativas anuais e as equações estimativas determinadas a partir de dois meses. As equações estimativas determinadas a partir de dois meses apresentaram em geral, uma variação entre temperatura estimada e temperatura medida superior em $0,2^{\circ}\text{C}$ aos valores de RMSE das equações estimativas determinadas a partir de dados anuais. As equações estimativas das temperaturas internas máximas apresentaram valores de RMSE superiores aos valores de RMSE das equações estimativas das temperaturas médias e mínimas.

Os ambientes que apresentaram maiores valores de RMSE das temperaturas internas máximas (o sótão da residência A, o dormitório 3 e o escritório da residência C), foram os que estão logo abaixo da cobertura e têm orientação oeste, sendo que são os mais influenciados pelos ganhos térmicos da radiação solar. Nestes ambientes, os menores valores de RMSE foram nas equações estimativas das temperaturas mínimas, enquanto nos outros cinco ambientes, as equações estimativas das temperaturas internas médias diárias foram as equações com os menores valores de RMSE por ambiente.

No dormitório 3 e no escritório da residência C, as equações estimativas das temperaturas máximas internas desenvolvidas a partir da média das máximas da temperatura externa, apresentaram valores de RMSE em torno de 30% inferiores aos valores dos RMSE das equações estimativas desenvolvidas a partir da média das médias da temperatura externa.

A Figura 29 mostra um gráfico de freqüência das amplitudes diárias das temperaturas internas dos oito ambientes estudados durante o período de abril/1998 a março/1999.

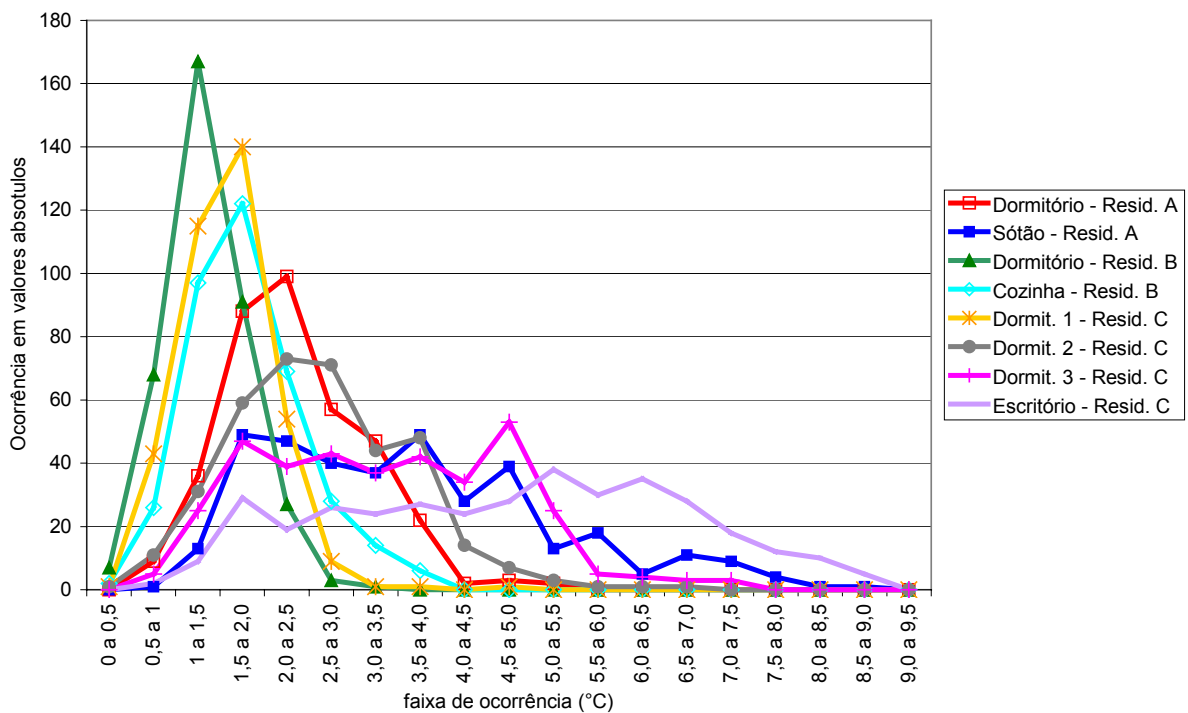


Figura 29. Gráfico de freqüência das amplitudes diárias das temperaturas internas dos ambientes das residências A, B e C, durante o período de abril/1998 a março/1999.

Existe uma relação entre a amplitude interna e os valores de RMSE obtidos. Observa-se que, nos ambientes com pequena amplitude térmica, dormitório da Residência B e dormitório 1 da residência C, o valor do RMSE é inferior a 0,6, enquanto os ambientes com maior amplitude térmica, dormitório da residência A, dormitório 3 e escritório da residência C apresentaram os maiores valores de RMSE.

6 Avaliação dos métodos de estimar a temperatura interna a partir da temperatura externa em duas residências em Florianópolis

O capítulo 4 mostra os procedimentos propostos para estimar a temperatura interna horária, e o capítulo 5 apresenta os procedimentos para estimar as temperaturas internas máxima, média e mínima diárias, a partir da temperatura externa.

Neste capítulo é feita a aferição das equações estimativas com medições de temperaturas feitas em período posterior. A aferição é feita em duas das três residências que tiveram suas temperaturas monitoradas em Florianópolis. Durante o período da pesquisa, a residência denominada A mudou de proprietários, e por isso não foi possível uma posterior medição das temperaturas. O período de monitoração das temperaturas ocorreu de 12/07/2002 a 25/09/2002, nos mesmos ambientes.

As temperaturas externas medidas durante julho e setembro de 2002 foram utilizadas para estimar a temperatura interna nas equações estimativas determinadas com dados de abril de 1998 a março de 1999. Os valores das temperaturas internas resultantes das equações propostas foram comparados com os valores das temperaturas internas medidas.

No item 6.1 a aferição será feita com as equações estimativas das temperaturas internas horárias, e no item 6.2 a aferição refere-se às equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias.

6.1 Aferição das equações estimativas das temperaturas internas horárias

A Tabela 13 apresenta os valores do MBE e do RMSE das temperaturas horárias estimadas a partir das temperaturas horárias medidas para os dois ambientes da residência B e para os quatro ambientes da residência C. A diferença entre os valores de RMSE das equações estimativas variou de 0,1°C a 0,5°C em todos os ambientes. O dormitório 1 da residência C foi o ambiente com os valores mais altos de RMSE, de 1,5°C a 2,0°C, e foi também o ambiente que apresentou a maior diferença entre os valores de RMSE das equações estimativas: 0,5°C. Já as equações estimativas da temperatura interna do dormitório da residência B e do dormitório 2 da residência C apresentaram os menores valores de RMSE, entre 0,6°C e 0,9°C.

Tabela 13. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B e residência C.

	Residência B				Residência C							
	Dormitório		Cozinha		Dormitório 1		Dormitório 2		Dormitório 3		Escritório	
	MBE (°C)	RMSE (°C)	MBE (°C)	RMSE (°C)	MBE (°C)	RMSE (°C)	MBE (°C)	RMSE (°C)	MBE (°C)	RMSE (°C)	MBE (°C)	RMSE (°C)
Anual	-0,27	0,67	-0,32	0,88	-0,73	1,63	0,40	0,73	-0,02	1,04	0,02	0,84
junho+jan	-0,32	0,69	-0,38	0,90	-0,40	1,47	0,53	0,83	0,42	1,08	0,51	0,99
junho+fev	-0,31	0,69	-0,31	0,92	-0,35	1,46	0,45	0,77	0,31	0,98	0,40	0,92
junho+mar	-0,28	0,71	-0,35	0,95	-0,47	1,51	0,48	0,78	0,49	1,12	0,42	0,91
julho+jan	-0,41	0,76	-0,24	0,89	-0,57	1,56	0,32	0,73	0,25	1,05	0,08	0,89
julho+fev	-0,54	0,84	-0,58	1,05	-0,49	1,53	0,43	0,79	0,20	1,03	0,19	0,90
julho+mar	-0,57	0,89	-0,61	1,08	-0,62	1,59	0,43	0,77	0,34	1,10	0,13	0,90
ago+jan	-0,22	0,65	-0,34	0,86	-1,10	1,90	0,05	0,71	-0,37	1,22	-0,15	0,93
ago+fev	-0,10	0,68	-0,43	0,96	-1,09	1,88	0,09	0,69	-0,45	1,25	-0,32	0,93
ago+mar	-0,11	0,73	-0,40	1,00	-1,17	1,95	0,14	0,69	-0,48	1,24	-0,24	0,93

Os piores resultados das equações estimativas, valores de RMSE superiores a $1,0^{\circ}\text{C}$, foram no dormitório 1 e no dormitório 3 da residência C. Estes dois dormitórios utilizaram aquecimento durante algumas noites frias, o que pode explicar as diferenças médias superiores a $1,0^{\circ}\text{C}$ entre temperaturas estimadas e temperaturas medidas.

Através de gráficos de frequência será apresentado o número de ocorrências da diferença das temperaturas estimadas e medidas nas dez equações propostas no dormitório 1 da residência C. Será exemplificada também a distribuição das temperaturas estimadas e medidas durante 5 dias para o mesmo ambiente. Esse ambiente foi escolhido por ter apresentado os maiores valores de RMSE. O mesmo será feito para o dormitório da residência B e o dormitório 2 da residência C por terem apresentado os menores valores de RMSE.

Como exemplificação do pior resultado encontrado no método apresentado nesta tese, a Figura 30 mostra a frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 1 da residência C. Pelo gráfico de frequências observa-se que ocorrem temperaturas medidas superiores às temperaturas estimadas, chegando a diferenças de até $6,8^{\circ}\text{C}$, com 95% da frequência de ocorrência de erros entre -4°C e $1,5^{\circ}\text{C}$.

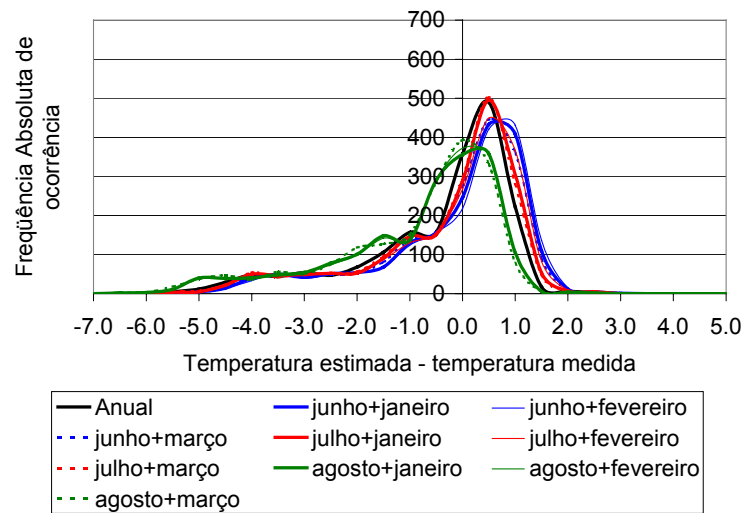


Figura 30. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 1 da residência C.

A Figura 31 mostra a distribuição das temperaturas horárias medidas e estimadas do dormitório 1 da residência C, junto com a distribuição das temperaturas externas durante 5 dias no mês de setembro. No dormitório 1 foi utilizado aquecimento artificial em algumas noites frias, e isto fica evidente nas três primeiras noites da Figura 31, onde observa-se que a temperatura interna sobe, enquanto existe um decréscimo na temperatura externa horária. Com isto, a temperatura interna estimada a partir da média da temperatura externa de horas anteriores apresenta uma diferença de quase 5°C com a temperatura interna. Já nos dois últimos dias, onde a temperatura interna não sofreu um acréscimo no período noturno (possivelmente não foi utilizado aquecimento artificial), a diferença entre a temperatura estimada e a temperatura medida foi inferior a $1,0^{\circ}\text{C}$.

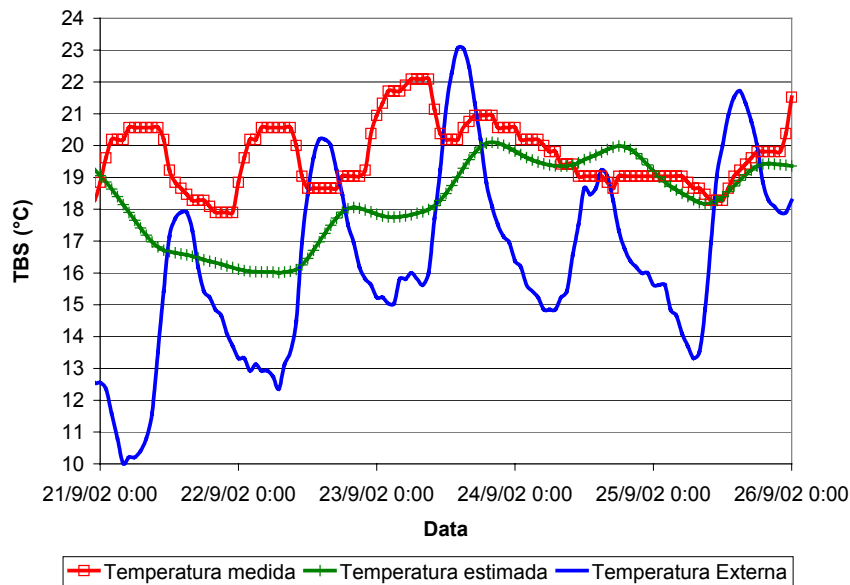


Figura 31. Distribuição de temperaturas horárias medidas e estimadas no dormitório 1 da residência C no período de 21/09/2002 a 26/09/2002.

O dormitório da residência B e o dormitório 2 da residência C apresentaram os menores valores de RMSE, entre $0,6^{\circ}\text{C}$ e $0,9^{\circ}\text{C}$. A Figura 32 mostra em um gráfico de frequência a diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório da residência B.

Na Figura 32 observa-se a frequência da diferença entre valores estimados e medidos no dormitório da residência B. As equações estimativas de agosto+fevereiro e de agosto+março foram as únicas equações que apresentaram o pico da diferença entre temperatura estimada e medida em $0,5^{\circ}\text{C}$, as outras equações apresentaram o pico em 0°C . Este ambiente apresentou a menor faixa de variação entre valores estimados e medidos quando comparado aos outros ambientes, sendo que 95% dos valores encontram-se entre $-1,6^{\circ}\text{C}$ e $1,0^{\circ}\text{C}$.

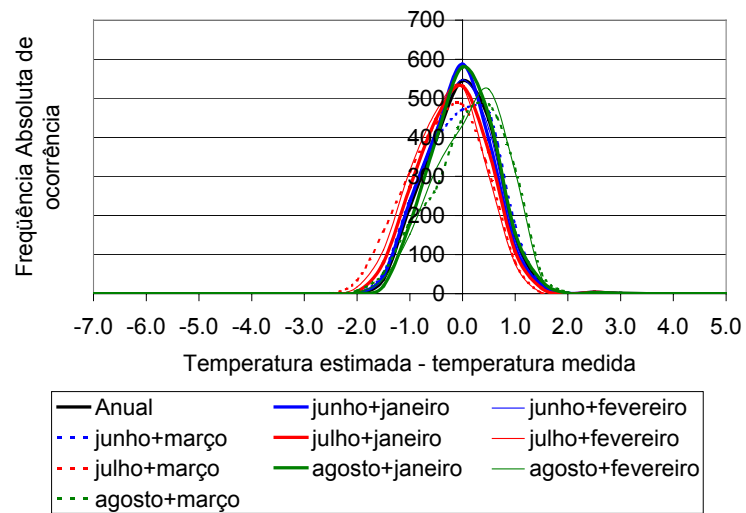


Figura 32. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório da residência B.

A Figura 33 mostra a distribuição das temperaturas horárias medidas e estimadas do dormitório da residência B, junto com a distribuição das temperaturas externas durante 5 dias no mês de setembro. Verifica-se que ocorreu pequena variação da temperatura interna devido à inércia térmica do dormitório da residência B. A equação de julho+janeiro estimou nestes cinco dias de setembro as temperaturas internas em média $1,5^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura interna medida.

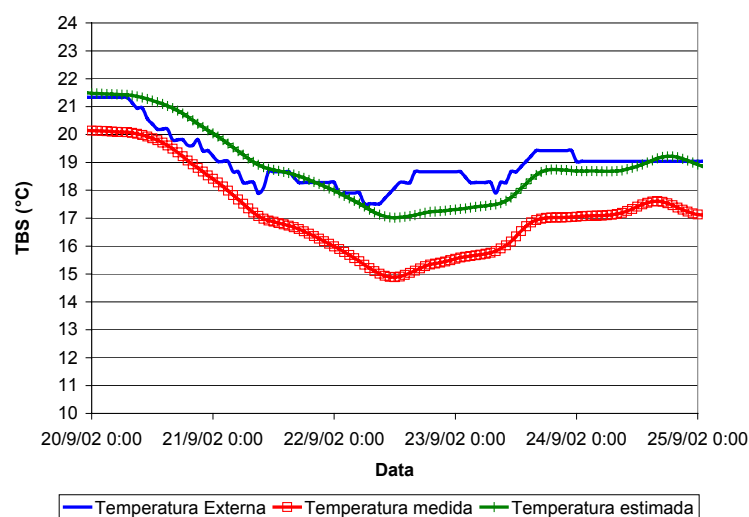


Figura 33. Distribuição de temperaturas horárias medidas e estimadas (equação julho+janeiro) no dormitório da residência B no período de 20/09/2002 a 25/09/2002.

A Figura 34 mostra em um gráfico de frequência a diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 2 da residência C. No dormitório 2 da residência C as equações estimativas apresentaram o pico de ocorrência da diferença das temperaturas estimadas e medidas entre $0,5^{\circ}\text{C}$ e $1,0^{\circ}\text{C}$, e 95% da frequência de ocorrência da diferença entre temperaturas estimadas e medidas, em média, entre $-0,9^{\circ}\text{C}$ e $1,6^{\circ}\text{C}$.

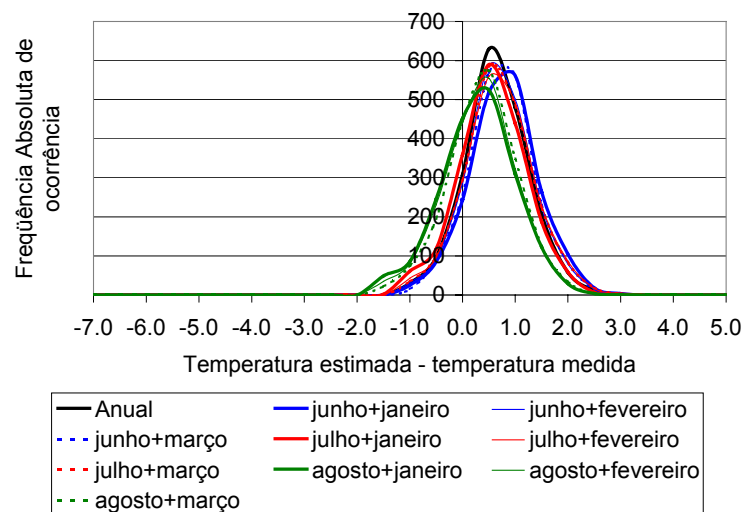


Figura 34. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 2 da residência C.

A Figura 35 mostra a distribuição das temperaturas horárias medidas e estimadas do dormitório 2 da residência C, junto com a distribuição das temperaturas externas durante 5 dias no mês de setembro. Observa-se que a temperatura estimada da equação junho+janeiro tendeu a superestimar em quase $2,0^{\circ}\text{C}$ as temperaturas máximas medidas durante esse período.

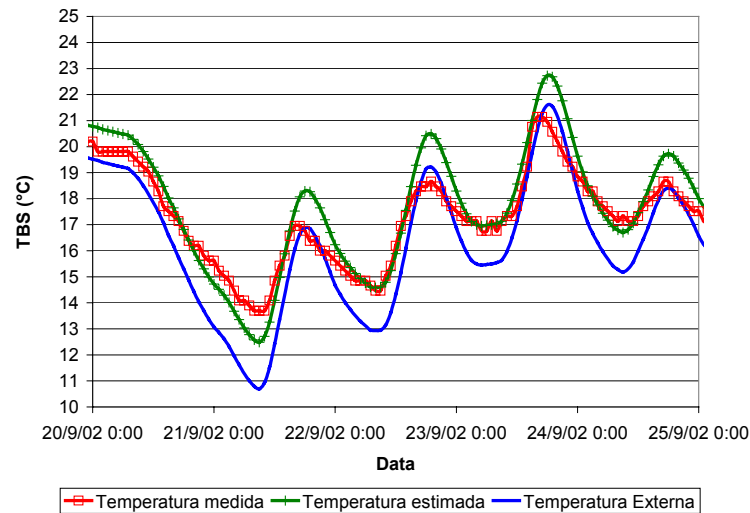


Figura 35. Distribuição de temperaturas horárias medidas e estimadas (equação junho+janeiro) no dormitório 2 da residência C no período de 20/09/2002 a 25/09/2002.

A Tabela 14 mostra a faixa de frequência de ocorrência de 95%, em média, da diferença entre temperaturas horárias estimadas e medidas para todos os ambientes aferidos.

Tabela 14. Faixa de ocorrência de 95%, em média, do erro estimativo das dez equações propostas para determinar as temperaturas horárias dos ambientes da residência B e da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.

		Temperatura horária
Residência B	Dormitório	-1,6 a 1,0°C
	Cozinha	-2,0 a 1,3°C
Residência C	Dormitório 1	-4,0 a 1,5°C
	Dormitório 2	-0,9 a 1,6°C
	Dormitório 3	-2,0 a 2,0°C
	Escritório	-1,6 a 1,8°C

O dormitório 1 da residência C foi o ambiente que apresentou uma maior variação de erros estimativos da temperatura interna, variando de $-4,0^{\circ}\text{C}$ a $1,5^{\circ}\text{C}$, isto devido a utilização de aquecimento artificial nas noites mais frias, onde a temperatura estimada era inferior a temperatura medida. A amplitude da faixa de ocorrência de 95% do erro das dez equações estimativas da temperatura horária foi de $5,5^{\circ}\text{C}$ no dormitório 1 da residência C, de $2,6^{\circ}\text{C}$ no dormitório da residência B e de $2,5^{\circ}\text{C}$ no dormitório 2 da residência C.

6.2 Aferição das equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias

A Tabela 15 apresenta os valores de MBE e RMSE para as temperaturas internas diárias estimadas com relação às medidas nos dois ambientes da residência B. Os valores referem-se ao período de julho a setembro de 2002.

O RMSE máximo encontrado foi de 1,33°C usando a equação dos meses julho e março para estimar a temperatura interna máxima da cozinha da residência B. A temperatura máxima de uma cozinha é fortemente influenciada pelo ganhos de calor de cocção. Na temperatura média e mínima da cozinha, e na temperatura máxima, média e mínima do dormitório, os valores do RMSE foram inferiores a 0,9°C. Os valores de RMSE dos dez períodos de aferição para as temperaturas internas máximas, médias e mínimas do dormitório e da cozinha da residência B apresentaram diferenças máximas de 0,3°C entre eles.

Tabela 15. MBE e RMSE das temperaturas internas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas internas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B.

	Residência B											
	T _{max} Dormitório		T _{med} Dormitório		T _{min} Dormitório		T _{max} Cozinha		T _{med} Cozinha		T _{min} Cozinha	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	-0,46	0,73	-0,39	0,59	-0,18	0,50	-0,74	1,08	-0,44	0,66	-0,16	0,47
junho+jan	-0,28	0,62	-0,26	0,50	-0,36	0,66	-0,75	1,07	-0,54	0,71	-0,34	0,66
junho+fev	-0,33	0,66	-0,34	0,56	-0,20	0,51	-0,79	1,13	-0,44	0,68	-0,26	0,53
junho+mar	-0,38	0,71	-0,31	0,57	-0,21	0,53	-0,68	1,08	-0,44	0,68	-0,42	0,62
julho+jan	-0,56	0,80	-0,44	0,63	-0,40	0,62	-0,94	1,22	-0,72	0,87	-0,43	0,72
julho+fev	-0,64	0,88	-0,54	0,71	-0,44	0,65	-0,93	1,24	-0,67	0,86	-0,33	0,57
julho+mar	-0,57	0,86	-0,54	0,74	-0,47	0,69	-1,03	1,33	-0,66	0,86	-0,32	0,56
ago+jan	-0,32	0,63	-0,29	0,51	-0,25	0,52	-0,72	1,05	-0,36	0,59	-0,28	0,63
ago+fev	-0,47	0,73	-0,25	0,51	-0,13	0,48	-0,81	1,14	-0,38	0,64	-0,12	0,44
ago+mar	-0,49	0,78	-0,35	0,59	-0,27	0,55	-0,76	1,13	-0,44	0,68	-0,19	0,49

A Tabela 16 apresenta os valores de MBE e RMSE para as temperaturas internas estimadas com relação às medidas no dormitório 1 e no dormitório 2 da residência C. Os valores de MBE e RMSE foram estimados com dados de temperaturas efetuados no período de julho a setembro de 2002.

Tabela 16. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 no dormitório 1 e dormitório 2 da residência C.

	Residência C											
	T _{max} Dormit. 1		T _{med} Dormit. 1		T _{min} Dormit. 1		T _{max} Dormit. 2		T _{med} Dormit. 2		T _{min} Dormit. 2	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	-1,07	1,96	-0,73	1,37	-0,55	1,03	0,19	0,83	0,18	0,42	0,34	0,65
junho+jan	-0,85	1,77	-0,44	1,19	-0,32	0,91	0,38	0,87	0,29	0,47	0,31	0,63
junho+fev	-0,82	1,77	-0,46	1,20	-0,35	0,91	0,35	0,84	0,42	0,56	0,40	0,68
junho+mar	-0,67	1,75	-0,41	1,20	-0,29	0,91	0,33	0,83	0,24	0,43	0,39	0,68
julho+jan	-0,89	1,83	-0,60	1,28	-0,38	0,95	0,22	0,83	0,16	0,42	0,53	0,76
julho+fev	-0,87	1,83	-0,62	1,29	-0,37	0,93	0,03	0,79	0,15	0,41	0,45	0,71
julho+mar	-0,90	1,88	-0,53	1,28	-0,33	0,94	0,11	0,80	0,20	0,42	0,46	0,73
ago+jan	-1,58	2,34	-1,25	1,76	-1,06	1,49	-0,27	0,94	-0,11	0,46	0,14	0,56
ago+fev	-1,53	2,31	-1,24	1,75	-0,98	1,35	-0,42	0,97	-0,07	0,44	-0,23	0,59
ago+mar	-1,66	2,42	-1,11	1,68	-1,06	1,48	-0,31	0,92	-0,11	0,42	0,18	0,58

O dormitório 1 apresentou o maior valor de RMSE se comparado aos outros ambientes desta residência, valor este de 2,4°C para a temperatura interna máxima. O dormitório 1 da residência C apresentou valores de RMSE das temperaturas internas máximas, médias e mínimas do período de 2002 superiores ao RMSE usando os dados de temperaturas do mesmo ano que geraram as equações de estimativa. Esta diferença ocorreu devido ao uso de aquecimento neste dormitório durante os dias mais frios, e também porque foi menor o número de dias para comparação.

A Tabela 17 apresenta os valores de MBE e RMSE para as temperaturas internas estimadas com relação às medidas no dormitório 3 e no escritório da residência C. Os valores de MBE e RMSE foram calculados com dados de temperaturas medidos no período de julho a setembro de 2002. Na Tabela 17 foram usadas as equações de estimativa das temperaturas internas máximas do dormitório 3 e do escritório usando como variável independente a média das médias da temperatura externa. Os valores do RMSE da temperatura interna máxima do dormitório 3 e do escritório foram altos, chegando a 2,1°C na temperatura máxima do escritório. O dormitório 3 apresentou valor máximo de RMSE de 1,2°C na determinação da temperatura interna média, e 0,9°C na temperatura interna mínima. O valor máximo de RMSE para determinar a temperatura interna média do escritório foi de 0,9°C, e a mínima não passou de 0,7°C.

Tabela 17. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 no dormitório 3 e escritório da residência C.

	Residência C											
	Tmax Dormit. 3		Tmed Dormit. 3		Tmin Dormit. 3		Tmax Escritório		Tmed Escritório		Tmin Escritório	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	-0,09	1,46	-0,21	0,75	-0,11	0,69	0,12	1,91	0,05	0,68	-0,12	0,61
junho+jan	0,67	1,45	0,38	0,78	0,28	0,74	1,17	2,11	0,45	0,77	0,07	0,60
junho+fev	0,68	1,47	0,32	0,81	0,17	0,75	1,23	2,14	0,49	0,79	0,06	0,60
junho+mar	0,81	1,57	0,37	0,85	0,18	0,71	1,16	2,14	0,48	0,80	0,08	0,60
julho+jan	0,27	1,42	0,17	0,74	0,31	0,75	0,43	1,91	0,19	0,70	0,16	0,62
julho+fev	0,13	1,40	0,24	0,81	0,39	0,83	0,36	1,89	0,25	0,71	0,02	0,60
julho+mar	0,26	1,47	0,27	0,85	0,24	0,72	0,32	1,93	0,26	0,74	0,06	0,60
ago+jan	-0,80	1,80	-0,72	1,14	-0,49	0,89	-0,49	2,05	-0,32	0,90	-0,18	0,63
ago+fev	-0,71	1,73	-0,75	1,21	-0,49	0,87	-0,49	2,04	-0,29	0,85	-0,23	0,64
ago+mar	-0,62	1,72	-0,77	1,15	-0,50	0,89	-0,47	2,10	-0,41	0,91	-0,16	0,62

A Tabela 18 apresenta a faixa de ocorrência de 95%, em média, da diferença entre temperaturas estimadas e temperaturas medidas das dez equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas, dos ambientes da residência B e da residência C. Observa-se que as maiores faixas de ocorrência dos erros são nas equações estimativas das temperaturas máximas internas. Na tentativa de melhorar o resultado das equações estimativas das temperaturas máximas do dormitório 3 e do escritório, as mesmas foram avaliadas usando como variável independente a média das máximas da temperatura externa.

Tabela 18. Faixa de ocorrência de 95%, em média, do erro estimativo das dez equações propostas para determinar as temperaturas máximas, médias e mínimas, dos ambientes da residência B e da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.

		T _{max}	T _{med}	T _{min}
Residência B	Dormitório	-1,6 a 0,7°C	-1,3 a 0,5°C	-1,3 a 0,7°C
	Cozinha	-2,4 a 0,8°C	-1,5 a 0,5°C	-1,3 a 0,7°C
Residência C	Dormitório 1	-4,4 a 1,6°C	-3,1 a 1,6°C	-2,4 a 1,2°C
	Dormitório 2	-1,6 a 1,7°C	-0,6 a 0,9°C	-0,8 a 1,4°C
	Dormitório 3	-2,8 a 2,9°C	-1,6 a 1,5°C	-1,4 a 1,4°C
	Escritório	-3,4 a 4,1°C	-1,3 a 1,5°C	-1,2 a 1,2°C

Na Tabela 19 foram usadas as equações de estimativa das temperaturas internas máximas do dormitório 3 e do escritório usando como variável independente a média das máximas da temperatura externa de dias anteriores. No dormitório 3 e no escritório da residência C, os valores de RMSE das equações que usaram a média das máximas da temperatura externa foram inferiores aos valores de RMSE das equações que usaram a média da temperatura externa para estimar a temperatura interna máxima. Nas dez equações estimativas das temperaturas internas máximas a faixa de ocorrência de 95%, em média, da diferença entre temperaturas estimadas e temperaturas medidas passou para $-1,9^{\circ}\text{C}$ a $2,6^{\circ}\text{C}$ no dormitório 3, e para $-1,7^{\circ}\text{C}$ a $2,8^{\circ}\text{C}$ no escritório.

Tabela 19. MBE e RMSE das temperaturas internas máximas estimadas a partir da temperatura máxima externa com relação às temperaturas internas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 no dormitório 3 e escritório da residência C.

	Residência C			
	Tmax Dormitório 3		Tmax Escritório	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	0,23	1,20	0,38	1,18
junho+jan	0,65	1,33	0,92	1,42
junho+fev	0,55	1,28	1,07	1,52
junho+mar	0,60	1,27	0,95	1,44
julho+jan	0,65	1,34	0,73	1,32
julho+fev	0,55	1,29	0,71	1,31
julho+mar	0,60	1,29	0,72	1,32
ago+jan	-0,28	1,10	0,08	1,16
ago+fev	-0,14	1,08	-0,09	1,15
ago+mar	-0,20	1,04	-0,12	1,14

Para exemplificar, mostra-se num gráfico de frequência a diferença entre temperaturas estimadas e medidas da temperatura máxima da cozinha da residência B (Figura 36). Na Figura 36 observa-se que as equações estimativas das temperaturas internas máximas diárias da cozinha da residência B apresentaram diferenças entre os resultados. Isto se deve ao fato do número de dias com as temperaturas monitoradas ter sido reduzido a 76 dias, um maior período de medições de temperaturas tende a apresentar uma distribuição normal das diferenças entre temperaturas estimadas e medidas.

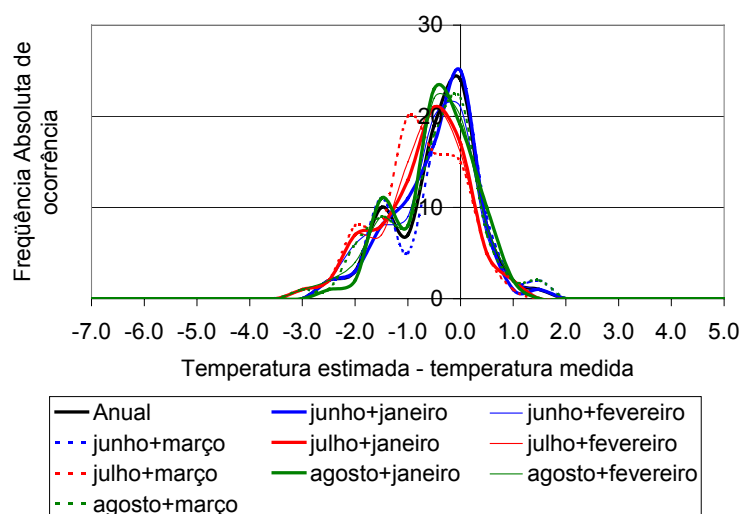


Figura 36. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para a cozinha da residência B.

A Figura 37 mostra um gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas pela equação junho+janeiro na cozinha da residência B no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.

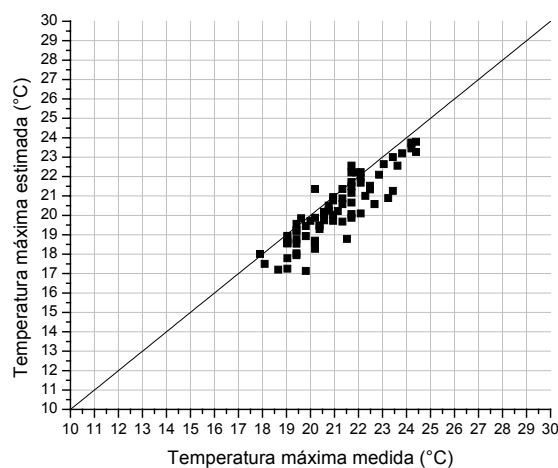


Figura 37. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas (pela equação junho+janeiro) na cozinha da residência B no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.

Na Figura 37 observa-se que as temperaturas máximas estimadas pela equação junho+janeiro tenderam a subestimar as temperaturas máximas medidas do período de 76 dias entre julho e setembro de 2002. Isto ocorreu porque a cozinha tem ganho de calor por cocção que coincide

com a ocorrência da temperatura máxima diária, e com isto, a temperatura máxima medida tem uma fraca relação com a média da temperatura externa.

Ainda como exemplificação, a Figura 38 mostra num gráfico de frequência a diferença entre temperaturas máximas estimadas e temperaturas máximas medidas do dormitório 3 e do escritório da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002, isto para as dez equações estimativas usando como variável independente a média das médias da temperatura externa.

Na Figura 38 observa-se que as equações estimativas das temperaturas internas máximas diárias do dormitório e do escritório da residência C apresentaram uma distribuição atípica, com uma grande faixa de variação da diferença entre valores medidos e estimados.

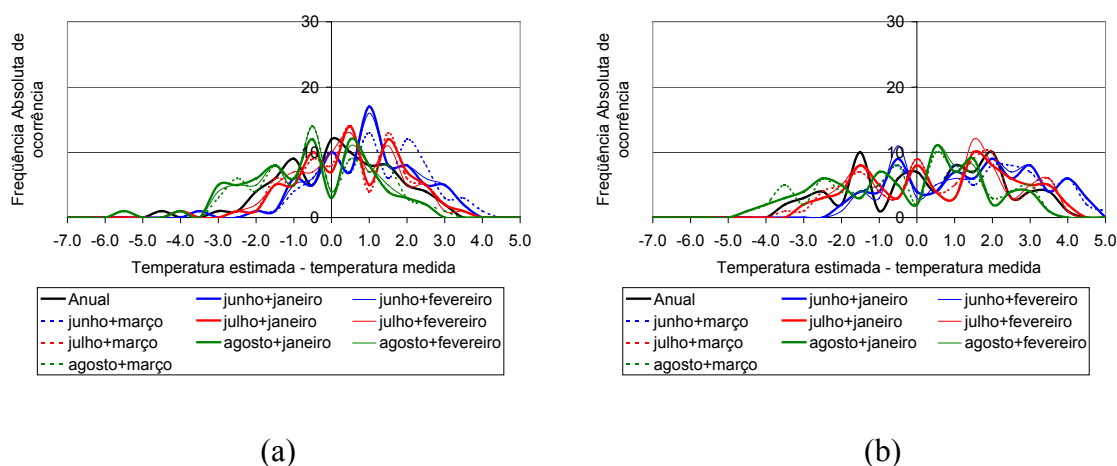


Figura 38. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 3 (a) e o escritório (b) da residência C.

A Figura 39 mostra num gráfico de dispersão as temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas pela equação junho+janeiro tanto no dormitório 3 quanto no escritório da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002. Observa-se que existe uma relação fraca entre as temperaturas máximas medidas e as temperaturas máximas estimadas a partir da média da temperatura externa tanto para o dormitório 3 quanto para o escritório da residência C.

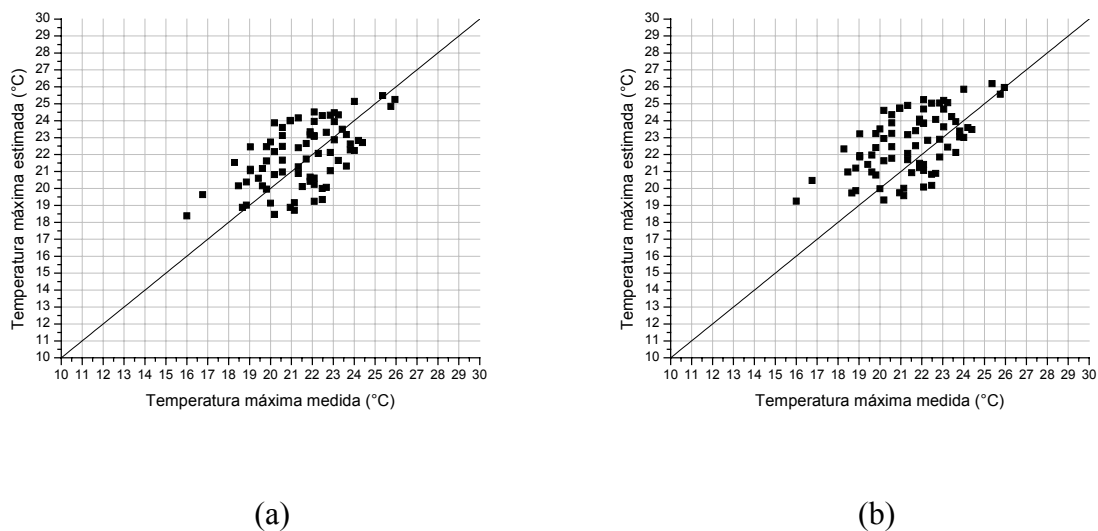


Figura 39. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas (pela equação junho+janeiro) no dormitório 3 (a) e no escritório (b) da residência C, no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.

Já a Figura 40 mostra num gráfico de freqüências a diferença entre temperaturas máximas estimadas e temperaturas máximas medidas do dormitório 3 e do escritório da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações estimativas determinadas a partir da média das máximas da temperatura externa de dias anteriores.

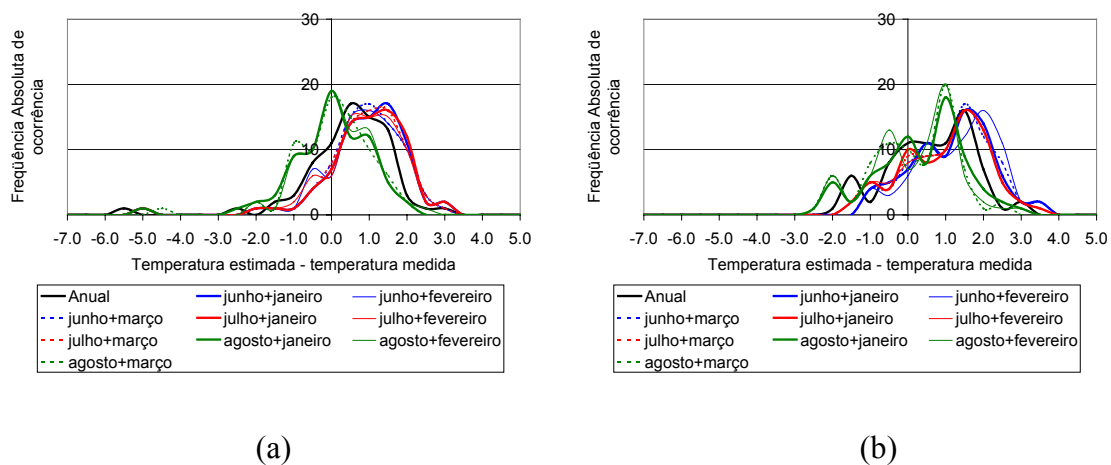


Figura 40. Gráfico de freqüência da diferença das temperaturas máximas estimadas a partir da média das máximas da temperatura externa de dias anteriores e as temperaturas máximas medidas no período de 12/07/2002 a 26/09/2002 para as dez equações propostas para o dormitório 3 (a) e o escritório (b) da residência C.

Na Figura 40 a variação da diferença das temperaturas máximas estimadas, a partir da média das máximas da temperatura externa de dias anteriores, foi menor do que a variação apresentada na Figura 38, que a temperatura máxima estimada foi calculada a partir da média das médias da temperatura externa de dias anteriores.

A Figura 41 mostra num gráfico de dispersão as temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas pela equação junho+janeiro tanto no dormitório 3 quanto no escritório da residência C no período de 12/07/2002 a 26/09/2002. As temperaturas máximas estimadas foram calculadas pela temperatura máxima externa do dia.

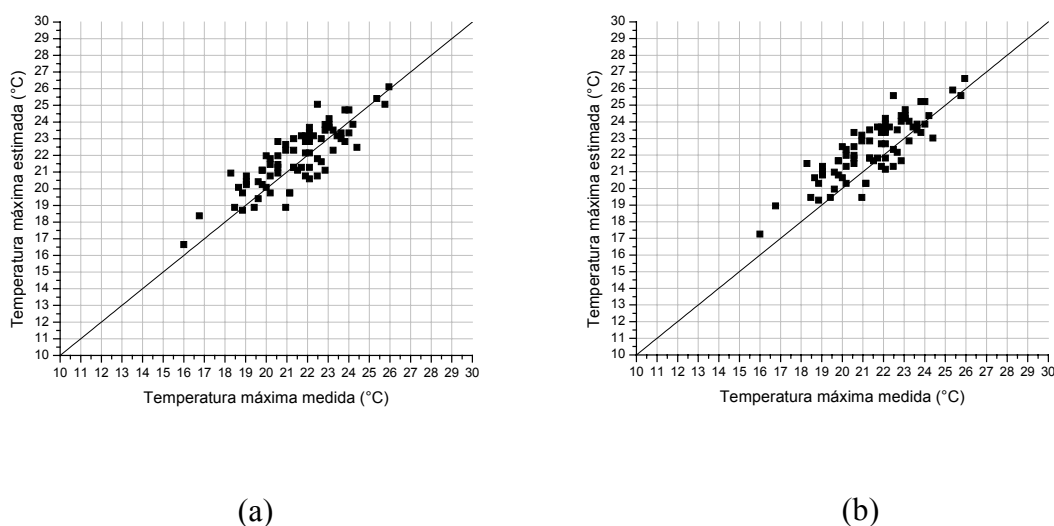


Figura 41. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas (pela equação junho+janeiro a partir da média das máximas da temperatura externa de dias anteriores) no dormitório 3 (a) e no escritório (b) da residência C, no período de 12/07/2002 a 26/09/2002.

Comparando a Figura 41 e a Figura 39 observa-se que as melhores equações de estimativa das temperaturas internas máximas do dormitório 3 e do escritório foram aquelas que usaram como variável independente a média das máximas da temperatura externa de dias anteriores.

6.3 Conclusão da avaliação do método proposto nas duas residências em Florianópolis

A aferição do método proposto de estimar a temperatura interna a partir da temperatura externa mostrou que é pequena a diferença entre uma equação estimativa gerada com dados de temperaturas de um ano de medição e uma equação estimativa gerada com dados de

temperaturas de dois meses. Na Tabela 20 observa-se o maior e o menor valor de RMSE das dez equações estimativas das temperaturas internas horárias para os seis ambientes aferidos.

Tabela 20. Maior e menor valor de RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B e residência C.

	Residência B		Residência C			
	Dormitório	Cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Escritório
RMSE máximo (°C)	0,89	1,08	1,95	0,83	1,25	0,99
RMSE Mínimo (°C)	0,65	0,86	1,46	0,69	0,98	0,84

A diferença máxima entre os valores máximos e mínimos de RMSE das equações estimativas das temperaturas horárias foi inferior a 0,5°C.

O dormitório 1 da residência C apresentou o maior erro médio de estimativa da temperatura horária, quase 2,0°C. No dormitório 3 da residência C o erro médio máximo não chegou a 1,3°C, e na cozinha da residência B o erro médio máximo foi inferior a 1,1°C. Os dois dormitórios citados utilizaram aquecimento artificial em algumas noites, enquanto a cozinha tem os ganhos de calor devido à cocção. O ganho de calor dentro do ambiente diminui a dependência da temperatura interna horária com a temperatura externa, e nestas horas, as equações estimativas subestimam a temperatura interna. No dormitório da Residência B, e no dormitório 2 e no escritório da residência C, o valor do erro médio de estimativa da temperatura horária não alcançou 1,0°C.

A Tabela 21 apresenta o maior e o menor valor de RMSE das dez equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas dos seis ambientes aferidos. A máxima diferença nos valores do RMSE das equações estimativas foi na estimativa das temperaturas máximas do dormitório 1 da residência C, 0,67°C. E a menor diferença nos valores do RMSE das equações foi na estimativa das temperaturas mínima do escritório da residência C, 0,04°C.

A estimativa da temperatura interna máxima de todos ambientes apresentou os maiores valores do RMSE, se comparados às estimativas das temperaturas médias e mínimas. As equações estimativas para determinação da temperatura máxima interna só apresentaram valores do RMSE inferiores a 1,0°C no dormitório da residência B e no dormitório 2 da residência C. O dormitório 1 da residência C foi o ambiente com os maiores valores do RMSE de estimativa das temperaturas máximas, médias e mínimas. O uso do aquecimento artificial durante o período da aferição, fez com que o RMSE na estimativa da temperatura máxima interna variasse de 1,7°C a 2,5°C.

Tabela 21. Maior e menor valor de RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas com relação às temperaturas medidas no período de 12/07/2002 a 25/09/2002 nos ambientes da residência B e residência C.

	Residência B		Residência C			
	Dormitório	Cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Escritório
RMSE máximo						
Temp. máxima (°C)	0,88	1,33	2,42	0,97	1,34	1,52
RMSE mínimo						
Temp. máxima (°C)	0,62	1,05	1,75	0,79	1,04	1,14
RMSE máximo						
Temp. média (°C)	0,74	0,87	1,76	0,56	1,21	0,91
RMSE mínimo						
Temp. média (°C)	0,50	0,59	1,19	0,41	0,74	0,68
RMSE máximo						
Temp. mínima (°C)	0,69	0,72	1,49	0,76	0,89	0,64
RMSE mínimo						
Temp. mínima (°C)	0,48	0,44	0,91	0,58	0,69	0,60

Em todos os ambientes, observa-se que a maior faixa de ocorrência do erro se deu nas equações estimativas das temperaturas máximas internas. Mas a faixa de ocorrência de 95%, em média, dos erros estimados da temperatura horária foi um pouco superior à faixa de ocorrência dos erros estimativos das temperaturas médias e temperaturas mínimas.

A utilização da média das máximas em vez da média das médias da temperatura externa de dias anteriores, melhorou os resultados para determinar a temperatura máxima interna do escritório e do dormitório 3 da residência C. A faixa de ocorrência de 95%, em média, da diferença entre temperaturas estimadas e temperaturas medidas das dez equações estimativas das temperaturas internas máximas, passou de $-2,8^{\circ}\text{C}$ a $2,9^{\circ}\text{C}$ para $-1,9^{\circ}\text{C}$ a $2,6^{\circ}\text{C}$ no dormitório 3, e de $-3,4^{\circ}\text{C}$ a $4,1^{\circ}\text{C}$ para $-1,7^{\circ}\text{C}$ a $2,8^{\circ}\text{C}$ no escritório.

7 Aplicação do método estimativo proposto para residências populares em Curitiba

O presente capítulo apresenta a utilização do método estimativo proposto para determinar a temperatura interna de moradias da Vila Tecnológica de Curitiba, de maneira a aferir as equações resultantes com um período posterior de medição das temperaturas internas. Neste capítulo, o método proposto nesta tese também é comparado com o método estimativo apresentado por Givoni em três moradias deste mesmo conjunto habitacional (GIVONI et al., 2002; KRÜGER e GIVONI, sem data).

Inicialmente é feita uma verificação nas temperaturas externas medidas na cidade de Curitiba se ocorreram dias com características de dias típicos de inverno e verão de nível 10%, conforme determinadas por Goulart et al. (1997). Depois são determinadas as equações das temperaturas internas horárias para cada casa e os resultados estimados são comparados com os valores medidos. As equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias também são determinadas e aferidas. Por último, é feita a comparação das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias estimadas pelo modelo proposto nesta tese com as temperaturas estimadas pelo modelo proposto por Givoni.

7.1 Verificação da ocorrência de dia típico de inverno e verão

A Figura 42 apresenta a distribuição da temperatura externa medida na Vila Tecnológica durante o período de 09/07/2000 a 03/08/2000, junto com a temperatura máxima e mínima do dia típico de inverno de nível 10% da cidade de Curitiba.

Pela Figura 42 observa-se que ocorreram 7 dias com temperaturas horárias inferiores às temperaturas máximas e mínimas do dia típico de inverno de nível 10%.

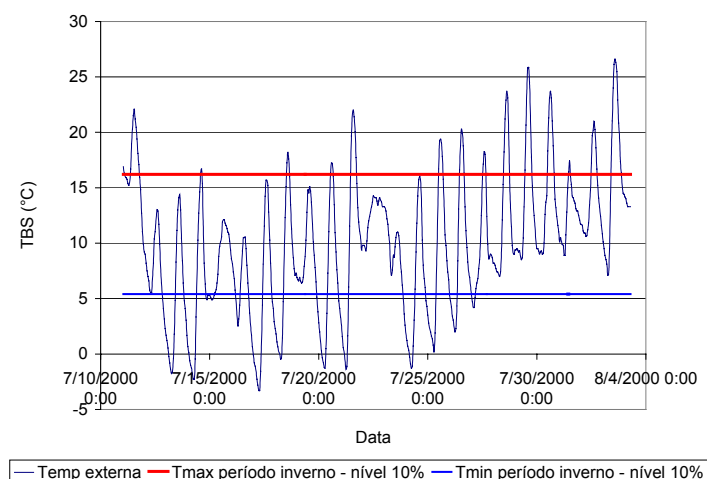


Figura 42. Distribuição da temperatura externa em Curitiba durante os dias 11/07/2000 a 11/08/2000 junto com a temperatura máxima e mínima do dia típico de inverno de nível 10%.

A Figura 43 apresenta a distribuição da temperatura externa medida na Vila Tecnológica durante o período de 12/12/2000 a 10/01/2001 (verão), junto com a temperatura máxima e mínima do dia típico de verão de nível 10% da cidade de Curitiba. Observa-se que ocorreram 10 dias com temperaturas superiores às temperaturas máximas e mínimas do dia típico de verão de nível 10%, demonstrando então, que estes dois períodos de medição têm dias com temperaturas representativas dos dias mais quentes e mais frios da cidade de Curitiba.

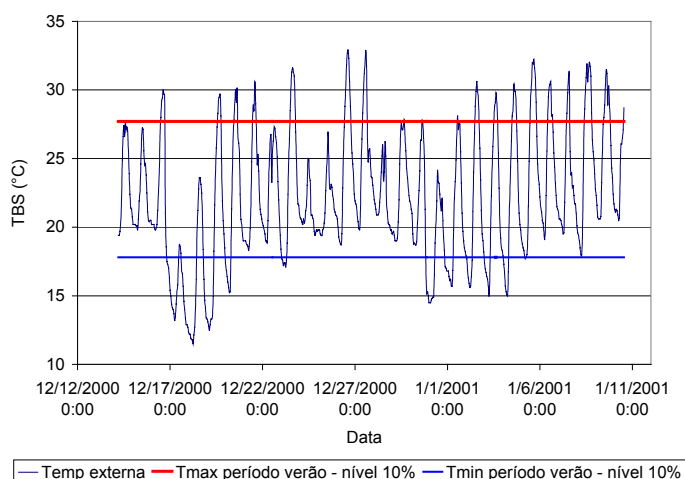


Figura 43. Distribuição da temperatura externa em Curitiba durante os dias 14/12/2000 a 10/01/2001 junto com a temperatura máxima e mínima do dia típico de verão de nível 10%.

7.2 Determinação das equações estimativas das temperaturas internas horárias

Seguindo o método proposto, foram calculadas as médias da temperatura externa de horas anteriores para os dois períodos. Após isto, foram determinadas as correlações das temperaturas internas horárias das moradias com as médias da temperatura externa de horas anteriores. A mais forte correlação entre as duas variáveis definiu qual o mais forte conjunto de dados de médias da temperatura externa horária para ser adotado na análise de regressão para estimar a temperatura interna horária.

A Tabela 22 apresenta as equações estimativas das temperaturas internas horárias de catorze moradias da Vila Tecnológica. O número que segue o subscrito “m” nas equações da Tabela 22 representa o número de horas anteriores que foi utilizado para estimar a média da temperatura externa.

Tabela 22. Equações de regressão por construtora da Vila Tecnológica de Curitiba para determinação da temperatura horária interna usando como variável independente a média da temperatura externa de horas anteriores T_{ehm} (°C).

Construtora	Equação	R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
MLC	$T_{ih} = 0,93T_{ehm12} + 4,34$	0,95	1,55	23310,0
Paineira	$T_{ih} = 0,93T_{ehm12} + 4,93$	0,94	1,77	18093,8
Castellamare	$T_{ih} = 0,88T_{ehm08} + 4,69$	0,91	2,09	12718,7
Batistella	$T_{ih} = 0,91T_{ehm03} + 4,70$	0,96	1,55	27671,7
Eternit	$T_{ih} = 0,87T_{ehm05} + 5,17$	0,96	1,38	30834,0
Constroyer	$T_{ih} = 0,83T_{ehm33} + 6,50$	0,96	1,17	28623,5
Kuerten	$T_{ih} = 0,83T_{ehm03} + 5,91$	0,96	1,34	30412,1
Todeschini	$T_{ih} = 0,80T_{ehm09} + 5,80$	0,96	1,21	30645,0
Facicasas	$T_{ih} = 0,83T_{ehm08} + 5,23$	0,95	1,48	22584,6
Tetolar	$T_{ih} = 0,83T_{ehm06} + 5,75$	0,96	1,41	25967,8
Andrade Gutierrez	$T_{ih} = 0,87T_{ehm12} + 5,82$	0,94	1,57	20200,3
Cohab-Pará	$T_{ih} = 0,90T_{ehm12} + 3,49$	0,93	1,77	17153,4
ABC	$T_{ih} = 0,77T_{ehm06} + 5,92$	0,95	1,34	25203,1
CHJ	$T_{ih} = 0,83T_{ehm07} + 5,25$	0,93	1,83	15168,4

Nas moradias da Vila Tecnológica, os erros padrão encontrados nas equações estimativas foram altos, variando de 1,2°C (Constroyer e Todeschini) até 2,1°C (Castellamare). Os maiores valores nos desvios são devido a um valor mais fraco no coeficiente de determinação das equações estimativas.

7.2.1 Aferição das equações estimativas das temperaturas internas horárias

Para aferir as equações propostas, foi feita uma medição das temperaturas internas nas moradias da Vila Tecnológica de Curitiba no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. As temperaturas horárias externas aplicadas às equações propostas serviram para estimar as temperaturas horárias internas.

A Tabela 23 apresenta a aferição dos resultados obtidos pelas equações estimativas horárias com as temperaturas horárias medidas nas moradias da Vila Tecnológica, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. Na Tabela 23 são apresentados os valores de MBE e RMSE das equações estimativas, junto com a faixa de ocorrência de 95% da diferença entre temperaturas estimadas e medidas.

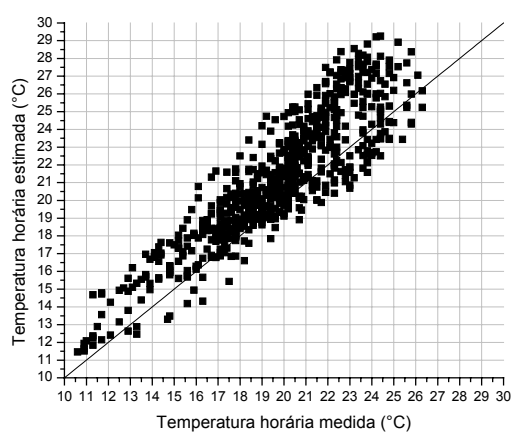
Tabela 23. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas, e faixa de ocorrência de 95% do erro estimativo das equações estimativas, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002 nas moradias da Vila Tecnológica.

Construtora	MBE	RMSE	Faixa de erro
MLC	0,88	1,46	-1,4 a 3,2°C
Paineira	1,55	2,23	-1,6 a 4,7°C
Castellamare	0,97	1,75	-1,9 a 3,8°C
Batistella	0,84	1,39	-1,3 a 3,0°C
Eternit	0,95	1,29	-0,8 a 2,7°C
Constroyer	1,10	1,49	-0,9 a 3,1°C
Kuerten	0,92	1,30	-0,9 a 2,7°C
Todeschini	-0,09	0,97	-2,0 a 1,8°C
Facicasas	0,22	1,01	-1,7 a 2,2°C
Tetolar	0,86	1,28	-1,0 a 2,7°C
Andrade Gutierrez	1,64	2,22	-1,3 a 4,6°C
Cohab-Pará	1,24	1,93	-1,7 a 4,1°C
ABC	0,54	1,12	-1,4 a 2,5°C
CHJ	1,21	1,94	-1,8 a 4,2°C

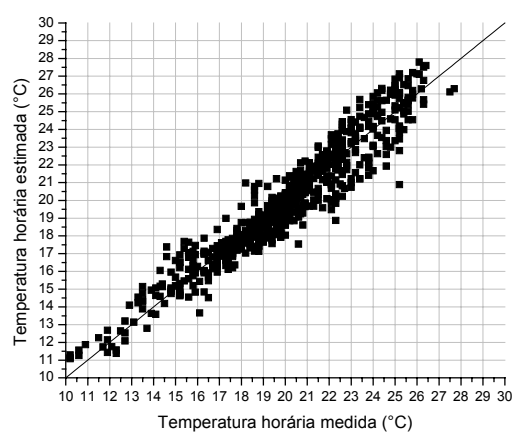
O valor máximo de RMSE encontrado foi de $2,2^{\circ}\text{C}$ nos sistemas construtivos das construtoras: Paineira e Andrade Gutierrez. Os menores valores de RMSE, em torno de $1,0^{\circ}\text{C}$, ocorreram nas moradias das construtoras Faci Casas e Todeschini.

Observa-se que as equações estimativas da moradia da construtora Todeschini e da construtora Facicasas apresentaram 95% do erro estimativo próximo a no máximo $2,0^{\circ}\text{C}$. Nas outras moradias, a faixa de erro era superior a $2,0^{\circ}\text{C}$, chegando a erros de até $4,7^{\circ}\text{C}$ na moradia da construtora Paineira. Não se verificou nenhuma relação forte entre o sistema construtivo e os resultados encontrados nas equações estimativas.

A Figura 44 mostra as dispersões entre as temperaturas horárias medidas e as temperaturas horárias estimadas para as moradias feitas pelas construtoras: Paineira e Todeschini, pior e melhor caso. Observa-se que, para a moradia construída pela construtora Paineira, a equação estimativa horária tende a superestimar os valores, enquanto que a equação da moradia da construtora Todeschini apresenta as melhores estimativas da temperatura horária. As outras moradias apresentam a dispersão das temperaturas horárias medidas e das temperaturas horárias estimadas entre a dispersão apresentada pelas duas moradias da Figura 44.



(a)



(b)

Figura 44. Gráfico de dispersão das temperaturas horárias medidas com as temperaturas horárias estimadas nas moradias das construtoras Paineira (a) e Todeschini (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.

7.3 Determinação das equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias.

Para determinar as equações estimativas, primeiro foram calculadas as médias da temperatura externa de dias anteriores. Após isto, determinou-se a mais forte correlação das temperaturas internas máximas, médias e mínimas das moradias com a média das médias da temperatura externa de dias anteriores, e então feita a análise de regressão.

O Apêndice F apresenta as equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas das catorze moradias da Vila Tecnológica analisadas neste trabalho. Para cada equação é apresentado o R^2 , o erro padrão e o valor da estatística F. Todas as equações apresentaram $F_{\text{calculado}}$ superior ao $F_{\text{crítico}}$ tabelado ($F_{1,40} = 4,08$), com isto, pode-se afirmar que existe relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes.

7.3.1 Aferição das equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias

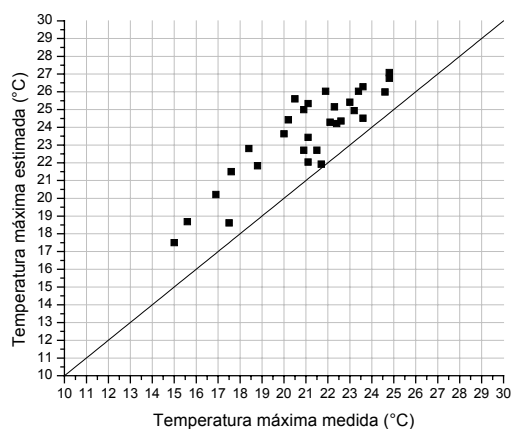
A Tabela 24 mostra os valores MBE e do RMSE das temperaturas estimadas, máximas, médias e mínimas, em relação as temperaturas medidas, para as catorze moradias da Vila Tecnológica de Curitiba. A maior variação das temperaturas máximas estimadas ao redor das temperaturas máximas medidas (RMSE) ocorreu na moradia construída pela construtora CHJ, próximo a $2,9^{\circ}\text{C}$, e o menor valor de variação nas temperaturas máximas ocorreu na moradia construída pela construtora Kuerten, RMSE próximo a $0,8^{\circ}\text{C}$. Nas temperaturas médias, o máximo valor de RMSE verificado foi $1,8^{\circ}\text{C}$ na moradia da Andrade Gutierrez, e o mínimo valor de RMSE foi de $0,6^{\circ}\text{C}$ na moradia da Todeschini. Também na determinação da temperatura mínima, as moradias da Andrade Gutierrez e da Todeschini apresentaram o maior e o menor valor de RMSE, $2,0^{\circ}\text{C}$ e $1,0^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Não se observa nenhuma relação entre sistema construtivo e maior ou menor valor de RMSE. A ocupação diferenciada entre o período em que foram estimadas as equações estimativas e o período de aferição é que determinou o maior valor de RMSE.

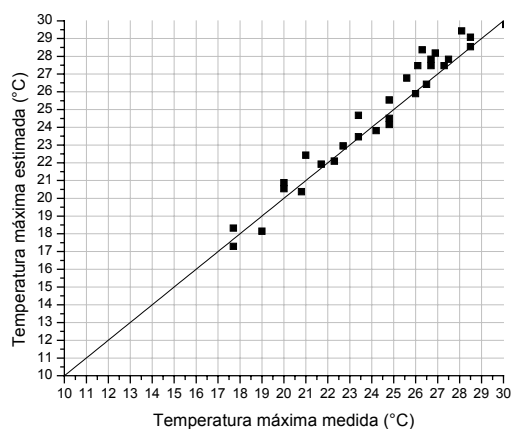
Tabela 24. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas com relação às temperaturas horárias medidas no período de 03/08/2002 a 01/09/2002 nas moradias da Vila Tecnológica.

Construtora	Temp. máxima		Temp. média		Temp. mínima	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
MLC	1,12	1,43	0,97	1,10	0,53	1,08
Batistella	1,59	2,12	0,87	1,09	0,71	1,25
Kuerten	0,41	0,83	0,89	1,11	1,30	1,52
Constroyer	1,41	1,61	1,17	1,42	0,72	1,28
Andrade Gutierrez	1,78	1,89	1,74	1,84	1,64	1,96
Todeschini	-0,11	1,07	-0,11	0,63	-0,17	1,01
ABC	0,60	1,49	0,75	0,98	0,91	1,17
Eternit	0,31	1,11	0,90	1,20	1,44	1,61
Facicasas	0,63	0,95	0,34	0,72	-0,07	1,03
Paineira	1,71	1,90	1,68	1,79	1,49	1,77
Cohab-Pará	1,86	2,23	1,39	1,53	1,19	1,64
Castellamare	1,25	2,08	1,11	1,33	1,04	1,46
Tetolar	1,45	1,68	0,96	1,22	1,47	1,69
CHJ	2,60	2,86	1,32	1,46	0,64	1,14

A Figura 45 mostra as dispersões entre as temperaturas máximas medidas e as temperaturas máximas estimadas para as moradias feitas pelas construtoras: CHJ e Kuerten, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. Verifica-se que a estimativa da temperatura máxima da moradia construída pela construtora CHJ desenvolvida com temperaturas medidas em dois meses do ano de 2000 e 2001, superestimou os valores das temperaturas medidas em 2002. Já na moradia construída pela construtora Kuerten, a equação estimou com melhor precisão os valores da temperatura máxima, isto possivelmente porque esta edificação não era ocupada durante o dia, e a temperatura máxima interna era somente influenciada pelo clima externo.



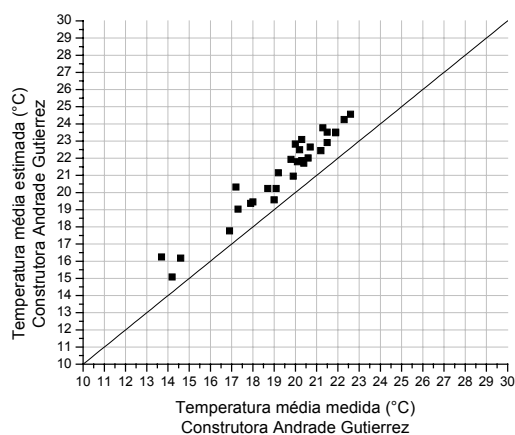
(a)



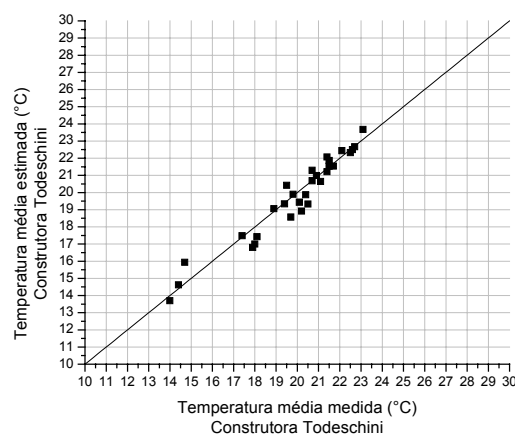
(b)

Figura 45. Gráfico de dispersão das temperaturas máximas medidas com as temperaturas máximas estimadas nas moradias das construtoras CHJ (a) e Kuerten (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.

A Figura 46 mostra as dispersões entre as temperaturas médias medidas e as temperaturas médias estimadas para as moradias feitas pelas construtoras: Andrade Gutierrez e Todeschini, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.



(a)



(b)

Figura 46. Gráfico de dispersão das temperaturas médias medidas com as temperaturas máximas estimadas nas moradias das construtoras Andrade Gutierrez (a) e Todeschini (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.

A equação proposta para estimar as temperaturas médias da moradia da construtora Andrade Gutierrez tendeu a superestimar as temperaturas médias diárias medidas em agosto de 2002. Enquanto a equação proposta para estimar as temperaturas médias da moradia da construtora Todeschini apresentou uma forte correlação com as temperaturas medidas.

A Figura 47 mostra as dispersões entre as temperaturas mínimas medidas e as temperaturas mínimas estimadas para as moradias feitas pelas construtoras Andrade Gutierrez e Todeschini, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. Verifica-se que as equações propostas para estimar as temperaturas mínimas para as moradias das duas construtoras apresentaram uma dispersão de pontos maior do que a apresentada na Figura 46, que se refere à dispersão das temperaturas médias. A equação proposta para estimar as temperaturas mínimas da moradia da construtora Andrade Gutierrez tendeu a superestimar as temperaturas medidas, enquanto os valores estimados da temperatura mínima da moradia da construtora Todeschini variaram pouco em torno dos valores das temperaturas mínimas medidas.

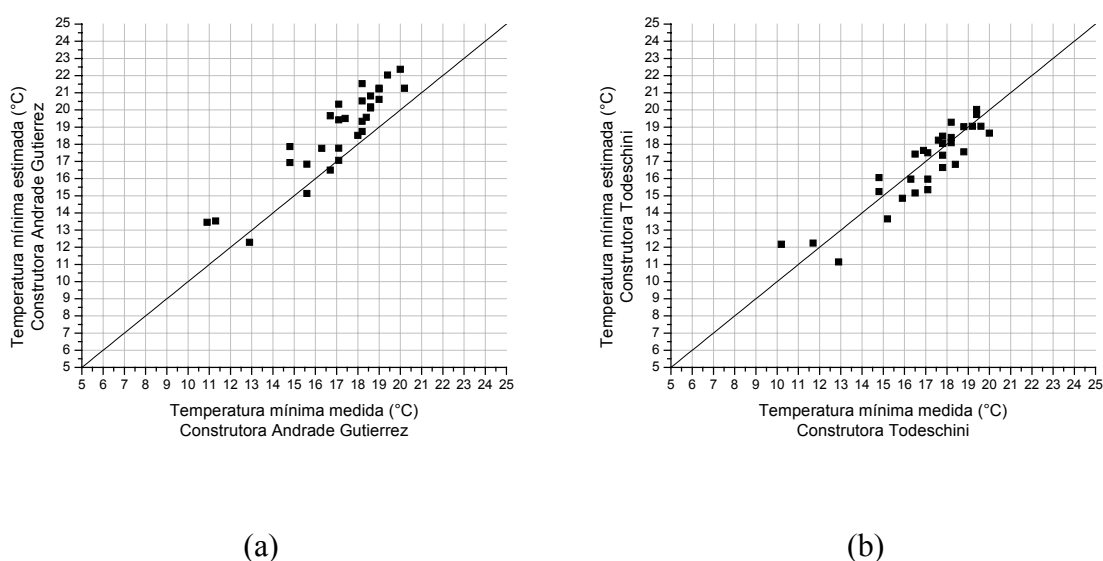


Figura 47. Gráfico de dispersão das temperaturas mínimas medidas com as temperaturas máximas estimadas nas moradias das construtoras Andrade Gutierrez (a) e Todeschini (b), no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.

A Tabela 25 apresenta a faixa de ocorrência de 95% da diferença entre temperaturas estimadas e temperaturas medidas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas, das 14 moradias da Vila Tecnológica de Curitiba, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002. Observa-se que a menor faixa de ocorrência do erro nas equações estimativas das temperaturas máximas internas, erros de aproximadamente 2,0°C, foi verificada nas moradias

das construtoras: Kuerten, Todeschini e Facicasas. Para as temperaturas médias, as equações estimativas que apresentaram erros máximos próximos a 2,0°C foram as equações das moradias das construtoras: MLC, Batistella, Kuerten, Todeschini, ABC e Facicasas. Para as temperaturas mínimas, as equações estimativas que apresentaram erros próximos a 2,0°C foram as equações das moradias das construtoras Todeschini e Facicasas.

Tabela 25. Faixa de ocorrência de 95% do erro estimativo das equações estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas, das 14 moradias da Vila Tecnológica de Curitiba, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.

Construtora	Temp. máxima	Temp. média	Temp. mínima
MLC	-0,7 a 3,0°C	-0,1 a 2,1°C	-1,4 a 2,5°C
Batistella	-1,2 a 2,7°C	-0,5 a 2,2°C	-1,4 a 2,8°C
Kuerten	-1,1 a 1,9°C	-0,5 a 2,3°C	-0,4 a 3,0°C
Constroyer	-0,2 a 3,0°C	-0,5 a 2,8°C	-1,5 a 2,9°C
Andrade Gutierrez	0,5 a 3,1°C	0,5 a 3,0°C	-0,6 a 3,9°C
Todeschini	-2,3 a 2,1°C	-1,4 a 1,2°C	-2,2 a 1,9°C
ABC	-2,2 a 3,4°C	-0,5 a 2,0°C	-0,6 a 2,4°C
Eternit	-1,9 a 2,5°C	-0,7 a 2,5°C	-0,1 a 2,9°C
Facicasas	-0,8 a 2,1°C	-1,0 a 1,7°C	-2,2 a 2,1°C
Paineira	0 a 3,5°C	0,4 a 2,9°C	-0,5 a 3,5°C
Cohab-Pará	-0,7 a 4,4°C	0,1 a 2,7°C	-1,2 a 3,5°C
Castellamare	-2,2 a 4,7°C	-0,4 a 2,6°C	-1,1 a 3,2°C
Tetolar	-0,3 a 3,2°C	-0,6 a 2,5°C	-0,3 a 3,2°C
CHJ	0,1 a 5,1°C	0 a 2,6°C	-1,3 a 2,6°C

7.4 Comparação do método apresentado por Givoni com o método proposto por esta tese

Givoni et al. (2002) e Krüger e Givoni (sem data) apresentam equações para estimar as temperaturas máximas, médias e mínimas de três moradias na Vila Tecnológica. As temperaturas que foram usadas na análise de regressão multivariada que geraram as equações estimativas propostas por Givoni, foram as mesmas temperaturas que foram utilizadas para gerar as equações estimativas desta tese. As medições de temperaturas feitas em 2002 foram

utilizadas para comparar o modelo proposto por Givoni que usa análise multivariada e o modelo proposto nesta tese com análise de regressão simples.

A Eq. (5), a Eq. (6) e a Eq. (7) apresentadas no Capítulo 2 são as equações estimativas das temperaturas internas da moradia MLC, máximas, médias e mínimas diárias respectivamente, propostas por Givoni, enquanto a Eq. (8), a Eq. (9) e a Eq. (10) do Capítulo 2 são as equações estimativas das temperaturas diárias da moradia da construtora Kuerten, e a Eq. (11), a Eq. (12) e a Eq. (13) do Capítulo 2 referem-se a estimativa das temperaturas diárias da moradia da construtora Castellamare.

A comparação dos dois modelos é feita através do RMSE e do MBE das equações estimativas da temperatura interna. A Tabela 26 apresenta os valores do RMSE e do MBE das temperaturas internas máximas, médias e mínimas, usando as equações estimativas de Givoni e do presente trabalho com relação às temperaturas medidas no período de 03/08/2002 a 01/09/2002 na moradia da construtora Kuerten, MLC e Castellamare.

Tabela 26. Resultados de RMSE e MBE das temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas com relação às temperaturas medidas no período de 03/08/2002 a 01/09/2002 da moradia da construtora Kuerten, MLC e Castellamare usando as equações estimativas de Givoni e as equações propostas no presente trabalho.

		Temperatura Máxima		Temperatura Média		Temperatura Mínima	
		RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE
Kuerten	Givoni	0,92	0,36	1,16	0,91	1,62	1,40
	Presente trabalho	0,83	0,41	1,11	0,89	1,52	1,30
MLC	Givoni	1,65	1,15	1,35	0,85	1,54	0,42
	Presente trabalho	1,43	1,12	1,10	0,97	1,08	0,53
Castellamare	Givoni	1,47	0,98	1,08	-0,81	1,57	1,47
	Presente trabalho	2,08	1,25	1,33	1,11	1,46	1,04

Para a estimativa das temperaturas internas máximas, médias e mínimas da moradia da construtora Kuerten, as equações estimativas propostas nesta tese apresentaram melhores resultados de RMSE do que a equação estimativa proposta por Givoni. Para a moradia da construtora Kuerten, tanto a equação estimativa proposta por Givoni quanto a proposta neste trabalho, apresentaram os valores de RMSE mais baixos nas equações estimativas das temperaturas máximas, depois nas equações estimativas das temperaturas médias e por último nas equações estimativas das temperaturas mínimas internas. Isto aconteceu porque esta moradia não é ocupada durante o período em que ocorre a temperatura máxima interna. No

período que ocorre a temperatura mínima interna existe a intervenção dos usuários, o que justifica os maiores valores de RMSE encontrados nessa moradia. As equações estimativas tenderam a superestimar as temperaturas médias internas calculadas

Na moradia da construtora MLC, os RMSE das equações estimativas propostas neste trabalho apresentaram valores inferiores ao RMSE das equações estimativas de Givoni. As equações da temperatura média e mínima apresentaram melhores resultados do que a equação da temperatura máxima interna. Esta moradia tem uma ocupação variável durante os dias da semana, logo a temperatura máxima é fortemente influenciada pela ocupação. Outro fato que influencia nesse comportamento é o ganho térmico solar pela cobertura, devido à telha de fibrocimento escurecida.

Na moradia da construtora Castellamare, a equação proposta nesta tese para estimar a temperatura máxima interna apresentou valor de RMSE superior a equação proposta por Givoni. O RMSE da equação de Givoni para determinar a temperatura média interna foi inferior à equação proposta por esta tese. A equação de Givoni para a temperatura média subestima os valores, enquanto a equação estimativa desta tese superestima os valores das temperaturas médias internas da moradia da construtora Castellamare. Quanto às temperaturas mínimas internas, o menor valor de RMSE foi encontrado com a equação estimativa proposta por esta tese, apresentando um valor inferior à equação estimativa de Givoni. Na moradia da construtora Castellamare a estimativa da temperatura média interna foi a que mostrou os menores valores de RMSE, enquanto as equações estimativas das temperaturas máximas e mínimas internas apresentaram valores mais altos de RMSE. A ocupação desta moradia é bastante variada, ou é ocupada durante todo o dia, ou totalmente desocupada. A ocupação variável e os ganhos de calor pela cobertura, fazem com que as temperaturas internas extremas apresentem uma maior dispersão quando estimadas do que as temperaturas internas médias.

Para uma avaliação do erro das equações estimativas propostas por Givoni e o presente trabalho, a Tabela 27 mostra a faixa de ocorrência de 95% dos erros estimativos das temperaturas máximas, médias e mínimas das moradias das construtoras Kuerten, MLC e Castellamare, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.

Tabela 27. Faixa de ocorrência de 95% do erro estimativo das equações propostas por Givoni e o presente trabalho para as temperaturas máximas, médias e mínimas, das moradias das construtoras Kuerten, MLC e Castellamare, no período de 03/08/2002 a 01/09/2002.

		Temperatura Máxima	Temperatura Média	Temperatura Mínima
Kuerten	Givoni	-1,4 a 2,0°C	-0,6 a 2,3°C	-0,3 a 3,0°C
	Presente trabalho	-1,1 a 1,9°C	-0,5 a 2,3°C	-0,4 a 3,0°C
MLC	Givoni	-1,4 a 3,6°C	-1,4 a 3,1°C	-2,7 a 3,6°C
	Presente trabalho	-0,7 a 3,0°C	-0,1 a 2,1°C	-1,4 a 2,5°C
Castellamare	Givoni	-1,4 a 3,3°C	-2,3 a 0,7°C	0,3 a 2,6°C
	Presente trabalho	-2,2 a 4,7°C	-0,4 a 2,6°C	-1,1 a 3,2°C

De modo geral, as equações estimativas tenderam a superestimar as temperaturas medidas, com exceção da equação proposta por Givoni para estimar a temperatura média da moradia da construtora Castellamare.

Observa-se na Tabela 27 que a faixa de 95% do erro estimativo das temperaturas da construtora Kuerten variaram pouco da equação proposta por Givoni e o presente trabalho. Na moradia da construtora MLC, a faixa de variação de 95% do erro estimativo das temperaturas internas foi menor nas equações estimativas propostas neste trabalho.

Com relação à moradia da construtora Castellamare, a equação estimativa da temperatura máxima interna proposta neste trabalho apresentou a faixa de variação de 95% do erro estimativo superior à equação estimativa proposta por Givoni. Na estimativa da temperatura média, a equação proposta por Givoni subestimou as temperaturas, enquanto o modelo proposto nesta tese superestimou. Com relação às temperaturas mínimas, o RMSE das duas equações estimativas foi parecido, 1,6°C para a equação proposta por Givoni versus 1,5°C para a equação proposta neste trabalho. Mas a faixa de variação de 95% do erro estimativo da temperatura mínima foi superior na equação proposta nesta tese à faixa de variação do erro da equação proposta por Givoni. A equação estimativa de Givoni só superestimou as temperaturas mínimas internas, enquanto a equação proposta nesta tese apresentou valores acima e abaixo das temperaturas medidas.

7.5 Considerações finais sobre o método proposto de estimar as temperaturas internas aplicado nas moradias em Curitiba

O método estimativo desenvolvido nesta tese com dados de temperaturas de residências de Florianópolis foi aplicado às edificações residenciais de baixa renda na cidade de Curitiba.

Na estimativa da temperatura horária das catorze moradias analisadas, o valor máximo de RMSE encontrado foi de $2,2^{\circ}\text{C}$ e o valor mínimo foi $0,97^{\circ}\text{C}$. Na determinação da temperatura interna máxima das catorze moradias encontrou-se um valor máximo de RMSE de $2,9^{\circ}\text{C}$, e o menor valor de RMSE encontrado foi na determinação da temperatura média interna, $0,6^{\circ}\text{C}$.

Não foi verificada nenhuma relação direta entre o sistema construtivo e o valor de RMSE para o pior caso. Isso ocorre porque a variação das temperaturas estimadas ao redor das temperaturas medidas depende também da ocupação.

De maneira geral, os resultados de RMSE encontrados nas equações estimativas das temperaturas internas das residências de Florianópolis foram melhores do que os resultados de RMSE das equações estimativas das residências da Vila Tecnológica.

Foi feita uma comparação das equações estimativas propostas por Givoni e as apresentadas nesta tese, para cálculo das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias.

Os resultados encontrados em duas das três casas aferidas, foram tais que, as equações estimativas das temperaturas internas máximas, médias e mínimas, propostos nesta tese, apresentaram valores de RMSE inferiores aos valores de RMSE das equações estimativas apresentadas por Givoni. Em valores absolutos, a diferença nos valores de RMSE das duas equações comparadas variou de $0,05^{\circ}\text{C}$ a $0,5^{\circ}\text{C}$. Na terceira casa aferida (moradia da construtora Castellamare), as equações estimativas da temperatura máxima e da temperatura média propostos por Givoni apresentaram valor de RMSE inferior às equações estimativas propostas nesta tese. A diferença em valores absolutos de RMSE corresponde a $0,6^{\circ}\text{C}$ e $0,25^{\circ}\text{C}$ para a temperatura máxima estimada e a temperatura média estimada, respectivamente. Essa residência foi pouco ocupada durante o período da segunda medição, o que sugere que as equações estimativas de Givoni têm melhores resultados em ambientes de pouca ocupação.

A comparação em três moradias da equação estimativa proposta nesta tese (feita por análise de regressão simples) com a equação estimativa de Givoni (feita por análise de regressão multivariada), mostra que a equação proposta nesta tese apresenta resultados equivalentes apesar do modelo estimativo utilizado ser mais simples.

8 Conclusões

Para avaliar o desempenho térmico de um ambiente antes da construção, não basta que, através de cálculos o mesmo garanta as recomendações de conforto térmico aos ocupantes, é necessário verificar se o ambiente mantém as condições de conforto que foram propostas no projeto quando está em uso. As avaliações de desempenho térmico de ambientes após a ocupação são feitas por medições no local. O objetivo deste trabalho foi a determinação de um método simples para estimar as temperaturas de ambientes em uso e naturalmente ventilados, a partir de dados de dois meses de medição das temperaturas internas e externas. Esta estimativa permite a comparação do comportamento térmico de diferentes ambientes sujeitos a um mesmo clima, e serve de base para avaliação e implementação das normas de desempenho térmico.

O método proposto estima as temperaturas internas horárias, e as temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias, a partir das temperaturas medidas em curtos períodos. Para desenvolver o modelo estimativo, foram usadas as temperaturas internas de oito ambientes de três residências em uso localizadas em Florianópolis. As medidas foram realizadas durante um ano, de abril de 1998 a março de 1999. Uma segunda medição das temperaturas internas foi feita de 12 de julho a 25 de setembro de 2002, em duas das três residências de Florianópolis, para aferição do método proposto. Dados de temperatura medidos em catorze casas ocupadas da Vila Tecnológica de Curitiba foram utilizados para verificar a validade do método para outros climas.

Observou-se que a temperatura interna e a temperatura externa estão correlacionadas, possibilitando a estimativa de uma a partir de outra. A equação estimativa determinada a partir de temperaturas medidas em um ambiente é representativa somente daquele ambiente, daquela ocupação e daquele clima. Desta forma, cada equação estimativa da temperatura interna é uma “**assinatura térmica**” do ambiente.

A Figura 48 é um fluxograma para estimar os modelos da temperatura horária interna, temperatura interna máxima, média e mínima diárias, desenvolvidos nesta tese.

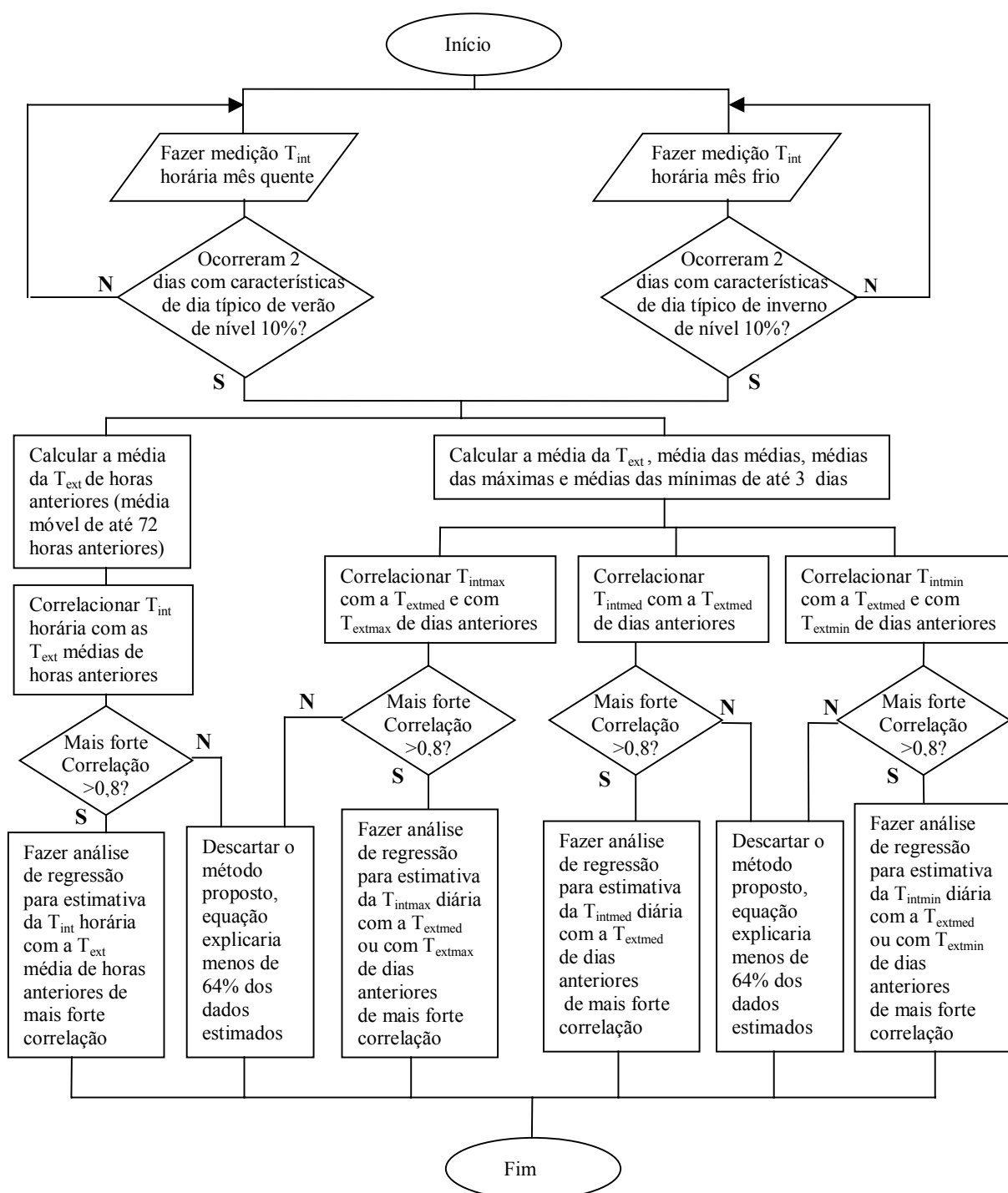


Figura 48. Fluxograma das etapas para estimar os modelos da temperatura horária interna, temperatura interna máxima, média e mínima diárias, propostos nesta tese.

As etapas dos modelos estimativos demonstradas no fluxograma são descritas abaixo:

1. Fazer as medições de temperatura em dois meses de temperaturas extremas, um mês de verão e outro de inverno. A caracterização deste período será representativa caso

verifique-se a ocorrência de dois dias com dados de temperaturas do dia típico de verão de nível 10%, e dois dias com temperaturas do dia típico de inverno de nível 10%. Esses dias não precisam ser necessariamente em seqüência.

2. Para estimar a temperatura interna horária, calcular a média da temperatura externa de horas anteriores. O número de horas para cálculo da média da temperatura externa de horas anteriores vai depender das características construtivas do ambiente e do uso do mesmo. Neste trabalho foram utilizadas médias da temperatura externa de até 54 horas anteriores, por isso sugere-se calcular a média da temperatura externa de até 72 horas anteriores (3 dias).
3. Para estimar as temperaturas internas máxima, média e mínima, calcular a média das médias e a média das máximas da temperatura externa de dias anteriores. Nesta pesquisa, o número máximo de dias anteriores para cálculo da média da temperatura externa foi de três dias, sugere-se calcular a média das médias da temperatura externa de até 7 dias anteriores.
4. Correlacionar as temperaturas horárias internas com as médias da temperatura externa de horas anteriores. Verificar num correlograma qual a mais forte correlação existente entre temperatura interna horária e a média da temperatura externa de horas anteriores, assim como seu comportamento.
5. Calcular a correlação das temperaturas internas: máximas, médias e mínimas, com as médias das médias da temperatura externa. Verificar num correlograma qual a mais forte correlação existente entre temperatura interna e a média das médias da temperatura externa de dias anteriores. Caso a correlação da temperatura máxima e mínima for fraca ($R < 0,9$), correlacionar a temperatura máxima interna com a média das máximas da temperatura externa e a temperatura mínima interna com a média das mínimas da temperatura externa. Optar pela média da temperatura externa com mais forte correlação.
6. Não se recomenda determinar a equação estimativa da temperatura interna se a correlação entre temperatura interna e externa for inferior a 0,8. Pois um $R=0,8$ corresponde a um coeficiente de determinação (R^2) de 0,64, que significa que a equação estimativa explicaria apenas 64% da variação da temperatura interna.

7. Fazer a análise de regressão simples para encontrar a equação de estimativa. Usar como variável dependente a temperatura interna (horária, e máxima, média ou mínima diárias) e como variável independente a média da temperatura externa (horária, e média, mínima ou máxima diárias) de período anterior com mais forte correlação.

As conclusões desta pesquisa são apresentadas em seis itens: (1) estimativa das temperaturas horárias; (2) estimativa das temperaturas máximas, médias e mínimas; (3) aferição do método proposto; (4) aplicação do método em edificações da Vila Tecnológica de Curitiba; (5) limitações do método proposto; (6) e sugestões para trabalhos futuros.

8.1 Estimativa das temperaturas horárias

Foram feitas duas análises de regressão, uma multivariada onde as variáveis independentes eram a média da temperatura externa de horas anteriores e a média da radiação solar de horas anteriores, e outra análise de regressão simples, onde a variável independente era somente a média da temperatura externa de horas anteriores. Em todos os ambientes a temperatura interna horária apresentou correlação mais forte com a média da temperatura externa de horas anteriores ($R > 0,97$) do que com a média da radiação solar de horas anteriores ($R < 0,8$). Todas as equações estimativas resultantes da análise de regressão apresentaram forte coeficiente de determinação ($R^2 > 0,9$). As equações estimativas da temperatura interna que tinham como variável independente somente a média da temperatura externa apresentaram uma variação não significativa no valor do coeficiente de determinação (R^2) quando comparadas às equações estimativas do mesmo ambiente que tinham como variáveis independentes a média da temperatura externa e a média da radiação solar. O sótão de uma das residências, foi o ambiente que apresentou a maior variação nas equações estimativas com e sem radiação solar, devido à maior influência da radiação solar sobre a temperatura nesse ambiente. Observou-se também que as equações estimativas que usam a radiação solar subestimam as temperaturas internas no período do dia com temperaturas mais baixas, ou seja, quando não existe radiação solar. Como não são todas as localidades nem todas as estações meteorológicas que possuem dados horários de radiação solar medidos, as equações estimativas podem ser feitas usando apenas a média da temperatura externa de horas anteriores. Porém nos ambientes mais influenciados pela radiação solar haverá perda de precisão na estimativa da temperatura interna.

A temperatura interna dos ambientes com mais inércia térmica e ocupados apresentou correlação mais forte com a média da temperatura externa de um período superior a 30 horas anteriores. A média da temperatura de 30 horas anteriores considera a média da temperatura externa de todo um dia anterior, mostrando a influência da inércia térmica destes ambientes. Nos ambientes com inércia térmica elevada mas desocupados, as temperaturas internas apresentaram forte correlação com a média da temperatura externa de um período máximo de 14 horas anteriores.

Nos ambientes com menor inércia térmica, a mais forte correlação com a média da temperatura externa ocorreu em no máximo 6 horas anteriores. A não ocupação e a pouca inércia térmica dos ambientes fizeram com que a temperatura externa tivesse uma influência em menos de 24 horas na temperatura interna destes ambientes.

As equações estimativas da temperatura interna horária que utilizam a média da temperatura externa de um período de horas superior a um dia são mais representativas do período frio. No período quente a ventilação do ambiente faz com que a temperatura interna seja influenciada pela temperatura externa mais próxima da hora em que é feita a estimativa da temperatura interna. Por outro lado, as equações estimativas da temperatura interna que são determinadas pela média da temperatura externa de um período de horas inferior a um dia, são mais representativas do período quente. Isto ocorre porque no período frio a edificação fica mais fechada, e com isso a temperatura interna mantém fraca relação com a temperatura externa mais próxima da hora da temperatura estimada.

8.2 Estimativa das temperaturas máximas, médias e mínimas

Com exceção da correlação das temperaturas máximas de dois ambientes, a correlação foi forte entre as temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias e a média das médias da temperatura externa de dias anteriores, sendo que a correlação foi superior a 0,98.

Foi observado que o número de dias da média das médias da temperatura externa para a determinação da temperatura interna máxima é igual ou inferior ao período de dias para determinação das temperaturas internas médias diárias e mínimas diárias. Isto porque a temperatura máxima interna diária do ambiente é influenciada mais fortemente pela temperatura externa (ampla ventilação dos ambientes durante o dia e ganho de calor solar) e com isso tem uma maior variação do seu valor de um dia para outro.

Nas equações estimativas da temperatura mínima diária o número de dias para calcular a média das médias da temperatura externa é igual ou superior a dois.

As temperaturas internas médias diárias e mínimas diárias são amenizadas pela inércia térmica do ambiente, e com isso, a variação destas temperaturas dia após dia não é tão acentuada como são as variações das temperaturas externas média e mínima.

8.3 Aferição do método proposto

As temperaturas externas medidas no ano de 2002 foram utilizadas para estimar a temperatura interna nas equações desenvolvidas a partir das temperaturas medidas de abril de 1998 a março de 1999. Foram dez as equações estimativas aferidas por ambiente, a equação estimativa da temperatura interna determinada a partir dos dados de um ano, e as nove equações estimativas das temperaturas internas determinadas a partir de dois meses, um de verão e outro de inverno.

A verificação das equações estimativas foi feita através do RMSE e do MBE, e o RMSE foi utilizado para comparar as equações estimativas. Os valores de RMSE das equações estimativas das temperaturas internas horárias apresentaram diferença máxima de $0,5^{\circ}\text{C}$ entre as equações. O maior erro médio de estimativa da temperatura horária foi de quase $2,0^{\circ}\text{C}$, e o menor valor de erro médio foi de $0,65^{\circ}\text{C}$. Os três ambientes que apresentaram RMSE superior a 1°C ou utilizaram aquecimento artificial em algumas noites, ou tinham ganhos de calor devido à cocção. O ganho de calor dentro destes ambientes diminuiu a relação da temperatura interna horária com a temperatura externa.

Com exceção de um ambiente, a ocorrência de 95% de ocorrência de erros das equações estimativas das temperaturas horárias foi entre $-2,0^{\circ}\text{C}$ e $2,0^{\circ}\text{C}$. Erros são inerentes a qualquer modelo estimativo, porém, se no intervalo de confiança for admitido um erro médio de $2,0^{\circ}\text{C}$, as equações estimativas da temperatura horária podem ser adotadas.

Nas equações estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas, a diferença no valor do RMSE foi de no máximo $0,7^{\circ}\text{C}$ entre as equações. Os maiores valores de RMSE ocorreram na estimativa da temperatura interna máxima, sendo que o maior valor de erro médio em todas as equações estimativas das temperaturas internas chegou a $2,4^{\circ}\text{C}$.

A utilização das média das máximas em vez da média das médias da temperatura externa diminuiu o erro na determinação da temperatura máxima interna de dois ambientes. Por isso, se durante a análise da correlação da temperatura interna máxima ou mínima existir uma variável independente mais forte do que a média da temperatura externa de dias anteriores, esta deverá ser adotada nas equações estimativas.

As equações estimativas das temperaturas máximas internas apresentaram a maior faixa de ocorrência do erro, e os limites do intervalo são superiores ao limite do intervalo da faixa de ocorrência do erro das equações estimativas da temperatura horária. As equações estimativas das temperaturas internas médias e mínimas apresentaram os limites do intervalo da faixa de ocorrência do erro inferiores ao limite do intervalo das equações estimativas da temperatura horária.

Com exceção de um ambiente, as equações estimativas das temperaturas médias e mínimas apresentaram erros inferiores a $2,0^{\circ}\text{C}$ em 95% dos dados. Com relação às equações estimativas da temperatura máxima interna, somente dois ambientes apresentaram erros inferiores a $2,0^{\circ}\text{C}$. As temperaturas internas destes dois ambientes tiveram uma flutuação com regularidade ao redor da temperatura externa, sofrendo pouca interferência de ganhos térmicos, internos ou externos. Por isso, as equações estimativas destes dois ambientes conseguem representar melhor as temperaturas internas.

8.4 Aplicação do método em edificações da Vila Tecnológica de Curitiba

O método proposto de estimativa das temperaturas internas a partir da temperatura externa, foi aplicado em medições de temperatura feitas em 14 moradias da Vila Tecnológica de Curitiba. As edificações apresentam diferentes sistemas construtivos e ocupação. As temperaturas medidas por Dumke (2002) na Vila Tecnológica de 09/07 a 03/08/2000 e de 21/12/2000 a 10/01/2001 foram utilizadas para estimar as equações. Durante os dois períodos de medição ocorreram 7 dias típicos de inverno de nível 10%, e 10 dias com temperaturas de dia típico de verão de nível 10%. Foram calculadas equações estimativas das temperaturas internas horárias, e temperaturas internas máximas, médias e mínimas diárias. Medições de temperaturas feitas de 03/08 a 01/09/2002 foram utilizadas para aferir as equações estimativas das catorze casas analisadas.

O RMSE foi utilizado para comparar as equações estimativas. Na estimativa das temperaturas horárias os valores de RMSE variaram de 1,0°C até 2,2°C. Na estimativa da temperatura máxima os valores de RMSE variaram de 0,8°C até 2,9°C, para a temperatura média a faixa de valores de RMSE foi de 0,6°C a 1,8°C, e na temperatura mínima o RMSE apresentou valores desde 1,0°C a 2,0°C. Não se conseguiu constatar uma relação entre um valor mais alto ou mais baixo de RMSE com o sistema construtivo usado.

Em Givoni et al. (2002) e em Krüger e Givoni (sem data) são apresentadas as equações estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas para 3 moradias da Vila Tecnológica que foram analisadas nesta tese. As equações estimativas apresentados por Givoni foram comparadas com as equações estimativas desta tese, sendo que o valor de RMSE foi utilizado para comparar as equações estimativas de cada uma das casas.

A diferença máxima em valores absolutos de RMSE das duas equações foi de 0,05°C a 0,6°C. Apenas na determinação da temperatura máxima e na temperatura média de uma das moradias analisadas, a equação estimativa de Givoni apresentou valor de RMSE inferior às equações estimativas apresentadas nesta tese.

As equações propostas por Givoni utilizam-se de mais de uma variável para estimativa das temperaturas (máxima, média ou mínima), e as variáveis mudam para cada caso. As variáveis são a temperatura mínima do dia, a temperatura média do dia, a temperatura média do período (não especificado pelo autor), a média das temperaturas mínimas do período (não especificado pelo autor) e a temperatura média do dia anterior. A equação estimativa apresentada nesta tese se utiliza apenas da média da temperatura externa de dias anteriores, mudando apenas o número de dias anteriores para calcular a média da temperatura externa. A comparação do modelo estimativo proposto nesta tese com modelo estimativo de Givoni, mostra que o modelo proposto nesta tese apresenta resultados equivalentes com a vantagem de ser mais simples de utilizar.

8.5 As limitações do método proposto

Para encontrar experimentalmente coeficientes das curvas de temperaturas que sejam válidos para diferentes condições construtivas e ocupacionais, é necessário um número grande de experimentos. A busca por equações com maior generalidade deve ser conduzida em paralelo à simulações utilizando modelos matemáticos já consagrados. Pesquisas futuras deverão

concentrar esforços na caracterização de perfis ocupacionais e seu impacto sobre o comportamento térmico de edificações, bem como o impacto do comportamento térmico sobre o perfil ocupacional.

As limitações verificadas no método proposto são as seguintes:

- ambientes mais sujeitos a variação da temperatura externa apresentarão erros maiores de estimativa, enquanto em ambientes com menor amplitude da temperatura interna, os erros de estimativa serão menores;
- a equação estimativa determinada a partir de temperaturas medidas em um ambiente é representativa somente daquele ambiente e daquela ocupação, e mudanças construtivas e de uso alterarão a confiabilidade do modelo estimativo;
- necessidade de medir a temperatura por um período mínimo de dois meses;
- as análises e conclusões do método proposto referem-se aos ambientes e ao clima estudados.

8.6 Sugestões para trabalhos futuros

- Utilização de métodos matemáticos para avaliar como a variação dos parâmetros construtivos e de uso alteram as equações estimativas e o número de horas anteriores usados para calcular a média da temperatura externa com mais forte correlação;
- Aplicação e aferição do método proposto em outros climas;
- Verificar qual o período mínimo de medição em climas com pouca variação térmica anual, para utilização do método proposto;
- Medição de temperaturas em edificações de conjuntos habitacionais de mesmo material e características construtivas, para avaliar como os perfis ocupacionais causam diferentes impactos sobre o comportamento térmico das edificações;
- Comparar os erros obtidos com o modelo proposto com os erros obtidos através de simulação.

Referências Bibliográficas

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais, 03:136.01.001. Rio de Janeiro: 2002a. Disponível em <<http://www.cobracon.org.br>>.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 4: Fachadas e paredes internas, 02:136.01.004. Rio de Janeiro: 2002b. Disponível em <<http://www.cobracon.org.br>>.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 5: Coberturas, 02:136.01.007. Rio de Janeiro: 2002c. Disponível em <<http://www.cobracon.org.br>>

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações, 02:135.07-002. Rio de Janeiro: 2003a. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/conforto/index.html>>

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social, 02:135.07-003. Rio de Janeiro: 2003b. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/conforto/index.html>>

ADELARD, L.; BOYER, H.; GARDE, F.; et al. A detailed weather data generator for building simulations. **Energy and Buildings**, v. 31, pp. 75-88. 2000.

BOX, G.E.P.; JENKINS, G. **Time series analysis: forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day Inc., ed. revisada, 1976. ISBN 0-8162-1104-3.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1977.

DOCHERTY, M.; SZOKOLAY, S.V. **Climate Analysis**. Plea Notes, note 5. Brisbane: University of Queensland Printery, 1999. ISBN 1 86499 228 X.

EVANS, J. M. Comfort Triangles. In: PLEA'2000 Architecture City Environment, 2000. **Anais...** Inglaterra, 2000. p. 556-561.

GABRIELSSON, J.; WILJANEN, H. A weather model for indoor thermal calculations. **Building and Environment**, v. 29, pp. 345-351. 1994.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1994.

GIVONI, B. Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. **Energy and Buildings**, v. 28, pp. 25-32. 1998.

GIVONI, B. Minimum climatic information needed to predict performance of passive buildings in hot climates. In: PLEA'99 CONFERENCE, 1999. **Anais...** 1999. p. 197-202.

GIVONI, B.; VECCHIA, F. Predicting thermal performance of occupied houses. In: PLEA 2001, 18., 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Pereira et al., 2001. p. 701-706.

GIVONI, B.; VECCHIA, F.; KRÜGER, E. Predicting thermal performance of housing types in developing countries with minimum climatic data. In: World Renewable Energy Congress VII, Colônia-Alemanha, 2002. **Anais...** Colônia: Elsevier Science Ltd., 2002.

GOULART, S.V.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção Civil, 1997.

HITTLE, D.C.; PEDERSEN, C.O. Periodic and stochastic behavior of weather data. **Ashrae Transactions**, v. 87 (2), pp. 173-194. 1981.

HONG, T.; JIANG, Y. Stochastic weather model for building HVAC systems. **Building and Environment**, v. 30, no. 4, pp. 521-532. 1995.

HONG, T.; JIANG, Y. Outdoor synthetic temperature for the calculation of space heating load. **Energy and Buildings**, v. 28, pp. 269-277. 1998.

IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**. Toronto: Academic Press, 1983. Appendix D.

KRÜGER, E.L.; DUMKE, E.M.S. Thermal performance evaluation of the technological village of Curitiba - Brazil. In: PLEA 2001, 18.,2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Pereira et al., 2001. p. 707-712.

KRÜGER, E.L.; GIVONI, B. Predicting thermal performance in occupied dwellings: a case-study in Curitiba, Brazil. Artigo submetido a **Energy and Buildings**. sem data.

KRÜGER, E.L. O uso de equações preditivas na avaliação do desempenho térmico de um sistema construtivo alternativo para habitação de interesse social. **Revista do Ambiente Construído**, Edição Especial sobre Conforto e Energia, pp. 77-86. 2003.

LABIB, T.M. **Effects of thermal mass on indoor maximum temperatures**. 1997. 147 f. Tese (Doctor of Philosophy in Architecture) - University of California, Los Angeles, 1997.

NJAU, E.C. Expressions for wind speed, relative humidity, rainfall, absolute humidity, vapour pressure and dew point as functions of temperature. **Renewable Energy**, v. 6, no. 1, pp. 23-28. 1995.

NJAU, E.C. Differential variations of maximum and minimum temperatures. **Renewable Energy**, v. 18, pp. 147-155. 1999.

OGOLI, D.M. Predicting indoor temperatures in closed buildings with high thermal mass. **Energy and Buildings**, v. 35, pp. 851-862. 2003.

Olgyay, V. e Olgyay, A. **Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism**. New Jersey: 1973.

PAPST, A.L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis - SC**. 1999. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC.

PAPST, A.L.; LAMBERTS, R. Comparação de duas formas de análise da temperatura interna de edificações residenciais. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU'2000, 9.,2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2000. p. 1226-1235.

PAPST, A.L.; LAMBERTS, R. Thermal Performance Evaluation of three houses in Florianópolis, South of Brazil. In: PLEA 2001, 18.,2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Pereira et al., 2001. p. 293-298.

SOARES, J.F.; FARIAS, A.A.; CÉSAR, C.C. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1991.

SZOKOLAY, S.V. Approaches to tropical house design. In: II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza Brasil. **Anais...** Fortaleza Brasil, 1999. p. Compact Disc.

XAVIER, A.A.d.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 198. - Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WEI, W.W.S. **Time series analysis**. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1994. ISBN 0-201-15911-2.

YOSHIDA, H.; TERAJ, T. Modeling of weather data by time series analysis for air-conditioning load calculations. **Ashrae Transactions**, v. 98 - Part 1, pp. 328-345. 1992.

APÊNDICE A – Aferição das equações estimativas das temperaturas horárias usando as temperaturas medidas de abril de 1998 à março de 1999

Nesta parte do trabalho se afere as equações estimativas das temperaturas horárias com os dados de temperaturas medidos no mesmo ano em que estes foram originados, de abril de 1998 à março de 1999. As análises foram separadas por residência.

Residência A

As equações estimativas das temperaturas horárias dos ambientes da Residência A vão ser aferidas com as temperaturas horárias medidas durante o período de abril/1998 a março/1999.

A Tabela A1 apresenta valores do desvio médio das temperaturas estimadas a partir das temperaturas medidas (MBE) e uma medida da variação das temperaturas estimadas ao redor das temperaturas medidas (RMSE) para os ambientes da residência A.

Tabela A1. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas pelas equações propostas com relação às temperaturas horárias medidas na residência A.

	Residência A			
	Dormitório		Sótão	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE
Anual	0,00	0,77	-0,05	1,14
Junho + janeiro	-0,05	0,81	0,02	1,15
Junho + fevereiro	-0,25	0,82	-0,15	1,17
Junho + março	-0,21	0,81	-0,21	1,20
Julho + janeiro	0,01	0,80	0,11	1,18
Julho + fevereiro	-0,05	0,79	-0,19	1,17
Julho + março	-0,18	0,80	-0,12	1,18
Agosto + janeiro	0,12	0,79	0,07	1,15
Agosto + fevereiro	0,06	0,78	-0,01	1,15
Agosto + março	-0,11	0,79	-0,10	1,16

Os resultados de MBE e RMSE das equações com todos os dados anuais servem como base de comparação para os resultados de MBE e RMSE das equações propostas usando apenas dois meses.

Pela Tabela A1 observa-se que, as equações estimativas anuais da residência A apresentaram valores de RMSE melhores do que as equações estimativas desenvolvidas a partir das temperaturas de dois meses. Na residência A o pior valor de RMSE foi na equação estimativa junho+março do sótão, $1,20^{\circ}\text{C}$.

A Figura A1 mostra em um gráfico de frequência a diferença das temperaturas horárias estimadas e as temperaturas horárias medidas durante abril/1998 e março 1999 para as dez equações propostas para o dormitório e o sótão da residência A.

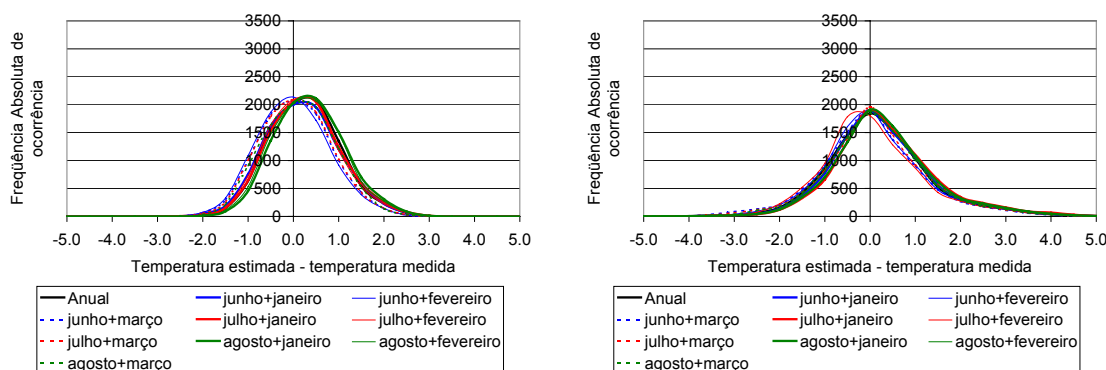


Figura A1. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório e o sótão da residência A respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março/1999.

Percebe-se que as equações estimativas do sótão apresentaram uma variação maior na diferença entre as temperaturas estimadas e medidas (de $-2,0^{\circ}\text{C}$ a $3,0^{\circ}\text{C}$) do que a diferença entre as temperaturas estimadas e medidas do dormitório da residência A (de $-1,5^{\circ}\text{C}$ a $2,0^{\circ}\text{C}$). A diferença entre os valores estimados e medidos, seja para o dormitório, seja para o sótão, apresentaram pequenas variações entre eles.

RESIDÊNCIA B

As equações estimativas das temperaturas horárias dos ambientes da Residência B vão ser aferidas com as temperaturas horárias medidas durante o período de abril/1998 a março/1999.

A Tabela A2 apresenta valores do desvio médio das temperaturas estimadas a partir das temperaturas medidas (MBE) e uma medida da variação das temperaturas estimadas ao redor das temperaturas medidas (RMSE) para os ambientes da residência A e da residência B.

Tabela A2. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas pelas equações propostas com relação às temperaturas horárias medidas para os ambientes da Residência B.

	Residência B			
	Dormitório		Cozinha	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE
Anual	0,00	0,48	0,00	0,62
Junho + janeiro	-0,10	0,50	-0,06	0,63
Junho + fevereiro	-0,04	0,49	0,17	0,66
Junho + março	0,10	0,50	0,18	0,67
Julho + janeiro	-0,07	0,49	-0,23	0,67
Julho + fevereiro	-0,20	0,53	-0,05	0,64
Julho + março	-0,10	0,52	-0,05	0,65
Agosto + janeiro	0,00	0,49	-0,09	0,64
Agosto + fevereiro	0,08	0,54	0,01	0,65
Agosto + março	0,10	0,56	0,20	0,71

A primeira linha de dados de MBE e RMSE da Tabela A2 refere-se a equação proposta para estimar as temperaturas internas horárias desenvolvida usando todos os dados de temperaturas horárias do ano. Os resultados de MBE e RMSE das equações com todos os dados anuais servem como base de comparação para os resultados de MBE e RMSE das equações propostas usando apenas dois meses.

Pela Tabela A2 observa-se que na residência B as equações estimativas anuais apresentaram valores de RMSE melhores do que as equações estimativas desenvolvidas a partir das temperaturas de dois meses.

Ainda na Tabela A2 verifica-se que o dormitório da residência B teve os melhores valores de RMSE nas equações estimativas, ou seja, os valores mais baixos, inferiores a 0,56°C.

Os valores absolutos do RMSE das equações estimativas foram inferiores nos ambientes da residência B quando comparadas às da residência A. Mas a variação percentual entre as equações estimativas determinadas a partir de dados anuais e as equações determinadas a

partir de dados de temperaturas de dois meses, foi maior nos dois ambientes da residência B do que nos ambientes da residência A.

Na Figura A2 observa-se num gráfico de frequência a diferença das temperaturas horárias estimadas e as temperaturas horárias medidas durante abril/1998 e março 1999 para as dez equações propostas para o dormitório e a cozinha da residência B.

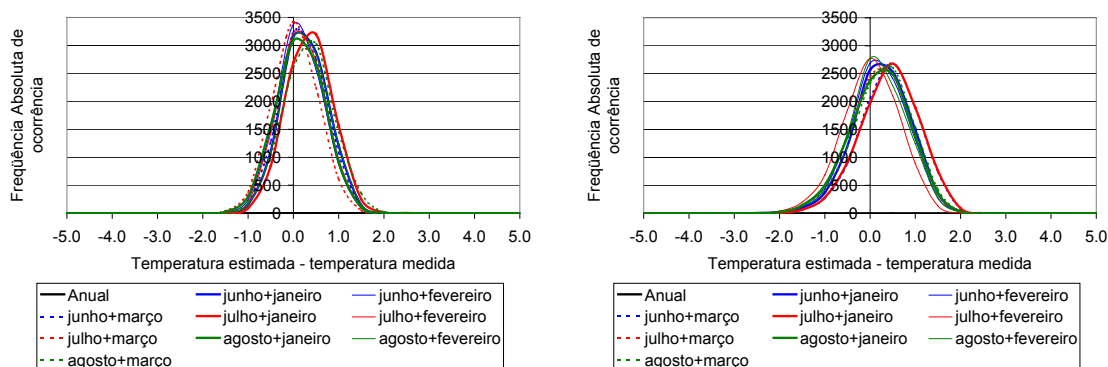


Figura A2. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório e a cozinha da residência B respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março 1999.

Os dois ambientes da residência B apresentaram uma maior frequência de ocorrência da diferença entre temperatura estimada e medida próximo a zero. E uma dispersão na diferença entre as temperaturas estimadas e medidas inferior às curvas de frequência das diferenças entre temperaturas estimadas e medidas nos ambientes da residência A.

As equações estimativas do dormitório apresentaram uma variação na diferença entre as temperaturas estimadas e medidas de $-1,0^{\circ}\text{C}$ até $1,5^{\circ}\text{C}$. Enquanto a diferença entre as temperaturas estimadas e medidas na cozinha da residência B foi de $-1,5^{\circ}\text{C}$ a $2,0^{\circ}\text{C}$. As diferenças entre os valores estimados e medidos entre as diferentes equações apresentaram pequenas variações entre elas.

RESIDÊNCIA C

As equações estimativas das temperaturas horárias dos ambientes da Residência B vão ser aferidas com as temperaturas horárias medidas durante o período de abril/1998 a março/1999.

A Tabela A3 apresenta valores do desvio médio das temperaturas estimadas a partir das temperaturas medidas (MBE) e uma medida da variação das temperaturas estimadas ao redor das temperaturas medidas (RMSE) para os ambientes da residência C.

Tabela A3. MBE e RMSE das temperaturas horárias estimadas pelas equações propostas com relação às temperaturas horárias medidas.

	Residência C							
	Dormitório 1		Dormitório 2		Dormitório 3		Escritório	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
Anual	0,02	0,52	-0,03	0,69	0,00	0,83	-0,05	0,77
Junho + janeiro	0,25	0,58	0,16	0,71	0,33	0,90	0,32	0,85
Junho + fevereiro	0,30	0,60	0,05	0,69	0,18	0,87	0,14	0,81
Junho + março	0,21	0,56	0,09	0,69	0,43	0,94	0,24	0,82
Julho + janeiro	0,14	0,54	-0,01	0,69	0,23	0,86	0,01	0,78
Julho + fevereiro	0,22	0,57	0,10	0,70	0,14	0,84	0,08	0,78
Julho + março	0,13	0,53	0,06	0,69	0,36	0,90	0,06	0,78
Agosto + janeiro	-0,10	0,58	-0,17	0,74	-0,04	0,89	-0,05	0,79
Agosto + fevereiro	-0,12	0,57	-0,13	0,73	-0,19	0,89	-0,33	0,84
Agosto + março	-0,17	0,60	-0,12	0,72	-0,18	0,89	-0,18	0,80

Na Tabela A3 observa-se que na residência C o pior valor de RMSE ocorreu na equação estimativa dos meses de junho+março no dormitório 3, 0,94°C. Os mais baixos valores de RMSE da residência C foram observados no dormitório 1. No dormitório 2 verifica-se o mesmo valor de RMSE da equação estimativa anual em quatro equações estimativas determinadas a partir de dois meses. Sendo que na equação julho+janeiro o valor do MBE ainda foi mais próximo a zero do que na equação estimativa proposta a partir das temperaturas de um ano.

A Figura A3 mostra em um gráfico de frequência a diferença das temperaturas horárias estimadas e as temperaturas horárias medidas durante abril/1998 e março/1999 para as dez equações propostas para o dormitório 1 e o dormitório 2 da residência C.

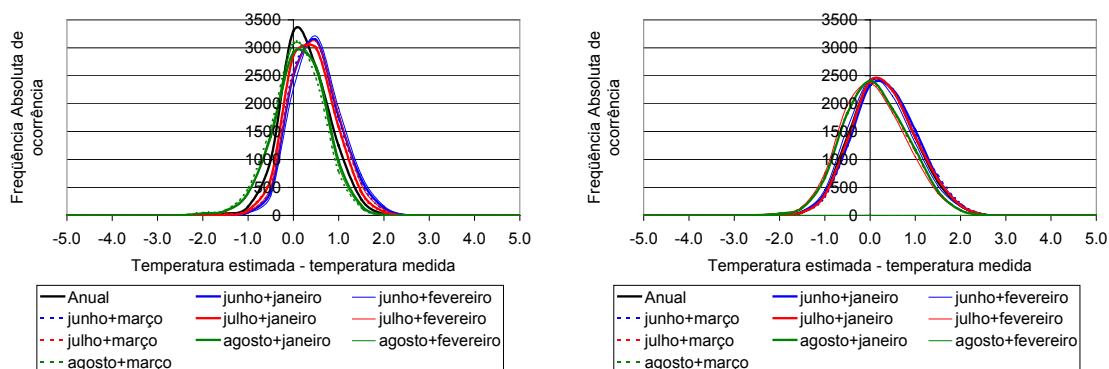


Figura A3. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório 1 e o dormitório 2 da residência C respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março/1999.

Na Figura A4 observa-se num gráfico de frequência a diferença das temperaturas horárias estimadas e as temperaturas horárias medidas durante abril/1998 e março/1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 e o escritório da residência C. A menor dispersão na diferença entre as temperaturas estimadas e medidas dos ambientes da residência C ocorreu no dormitório 1. A variação na diferença entre as temperaturas estimadas e medidas no dormitório 1 foi de $-1,0^{\circ}\text{C}$ até $1,5^{\circ}\text{C}$, $2,0^{\circ}\text{C}$. O dormitório 3 apresentou a maior dispersão na diferença entre as temperaturas estimadas e medidas dos ambientes da residência C, $-2,0^{\circ}\text{C}$ até $2,5^{\circ}\text{C}$. As variações entre equações não são muito significativas.

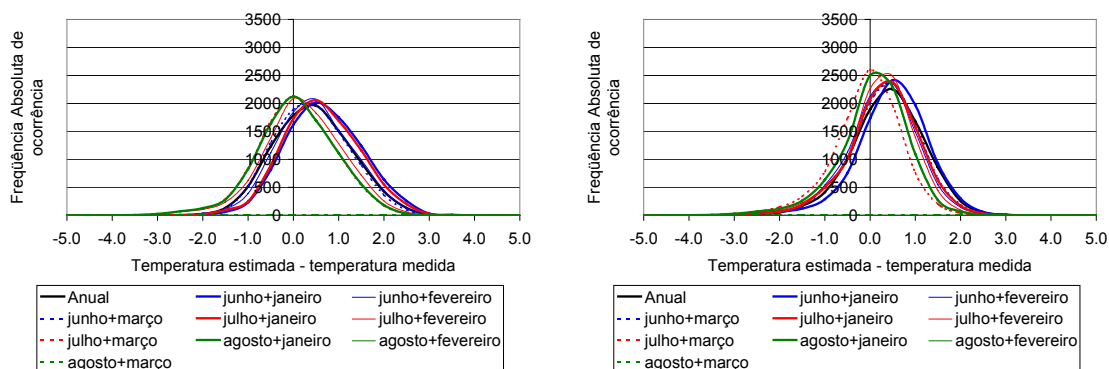


Figura A4. Gráficos de frequência da diferença das temperaturas estimadas e as temperaturas medidas para as dez equações propostas para o dormitório 3 e o escritório da residência C respectivamente, usando para aferição os dados de temperaturas medidos entre abril/1998 e março/1999.

APÊNDICE B – Aferição das equações estimativas das temperaturas diárias usando as temperaturas medidas de abril de 1998 à março de 1999.

Nesta parte do trabalho se afere as equações estimativas das temperaturas internas: máximas, médias e mínimas com os dados de temperaturas medidos no mesmo ano que estes foram originados, de abril de 1998 à março de 1999.

As temperaturas externas do período de abril de 1998 até março de 1999 foram aplicadas nas equações de estimativa do Apêndice D para estimar as temperaturas internas máximas, médias e mínimas. Os valores estimados foram comparados com os valores reais medidos. Foram calculados os valores do desvio médio das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas medidas (MBE) e a medida da variação das temperaturas estimadas ao redor das temperaturas medidas (RMSE) para todas as equações propostas e para todos os ambientes. Os cálculos do MBE e do RMSE foram feitos usando todos os dados de um ano de temperaturas medidas nos ambientes.

Apesar de alguns casos não se ter confiabilidade de 95% em usar o intercepto, todas as equações apresentaram menor MBE e RMSE com o uso da equação com intercepto do que a equação sem o intercepto. Os resultados de RMSE apresentados nas tabelas a seguir são todos calculados a partir de equações com intercepto.

Residência A

A Tabela B1 apresenta valores do MBE e do RMSE para os dois ambientes da Residência A.

Tabela B1. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório e no Sótão da Residência A.

	Temp. máxima Dormitório		Temp. média Dormitório		Temp. mínima Dormitório		Temp. máxima Sótão		Temp. média Sótão		Temp. mínima Sótão	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
Anual	-0,02	0,64	0,04	0,43	0,07	0,56	0,08	1,25	-0,05	0,77	-0,06	0,69
Junho + janeiro	0,01	0,66	-0,03	0,57	0,06	0,65	-0,03	1,26	0,15	0,80	0,02	0,85
Junho + fevereiro	-0,11	0,65	-0,19	0,48	-0,30	0,67	-0,25	1,28	-0,16	0,79	0,04	0,70
Junho + março	-0,34	0,73	-0,17	0,57	-0,27	0,66	-0,51	1,37	-0,25	0,82	-0,18	0,71
Julho + janeiro	-0,13	0,67	0,08	0,47	-0,02	0,57	-0,09	1,44	0,02	0,79	0,16	0,71
Julho + fevereiro	-0,20	0,68	-0,10	0,45	-0,15	0,58	-0,18	1,43	-0,03	0,78	0,10	0,70
Julho + março	-0,38	0,75	-0,15	0,46	-0,04	0,56	-0,58	1,40	-0,24	0,81	-0,08	0,70
Agosto + janeiro	0,14	0,66	0,03	0,43	0,26	0,66	0,02	1,25	0,11	0,78	0,30	0,89
Agosto + fevereiro	-0,12	0,66	0,08	0,44	-0,01	0,56	-0,16	1,26	0,06	0,78	0,03	0,69
Agosto + março	-0,09	0,66	0,00	0,44	-0,01	0,60	-0,50	1,38	-0,16	0,81	0,06	0,71

As temperaturas máximas estimadas apresentaram maior valor absoluto de RMSE, maior variação com relação às temperaturas máximas medidas, do que a estimativa das temperaturas médias e mínimas. O sótão por ser um ambiente influenciado pela radiação solar, o valor estimado das temperaturas máximas, médias e mínimas apresentou uma maior dispersão dos valores comparados às temperaturas medidas, chegando a um valor de RMSE de 1,44°C.

Nos dois ambientes da residência A, as equações desenvolvidas com apenas dois meses de dados de temperaturas apresentaram diferenças de 0,2°C no máximo com relação ao RMSE das equações desenvolvidas com todos os dados de temperaturas horárias do ano.

As temperaturas máximas do dormitório e do sótão apresentaram maior variação entre temperaturas estimadas e temperaturas medidas, por isso a exemplificação num gráfico de freqüências da diferença entre temperaturas estimadas e medidas será demonstrado para o pior caso: temperaturas máximas.

A Figura B1 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório da residência A.

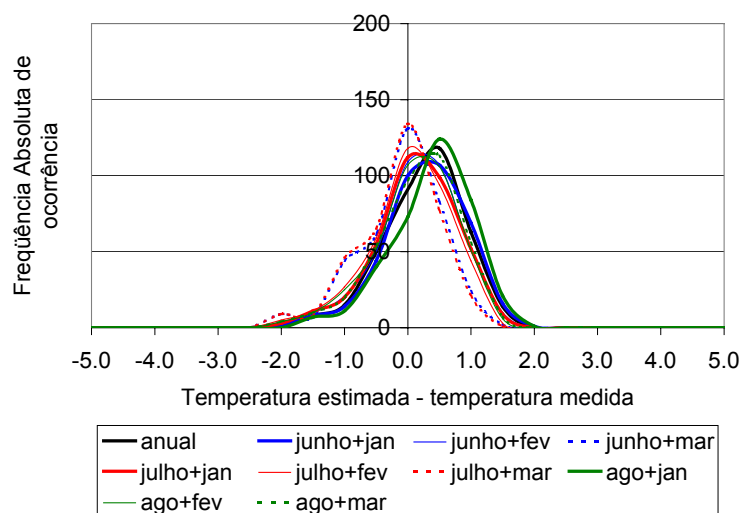


Figura B1. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório da residência A.

A Figura B2 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o sótão da residência A.

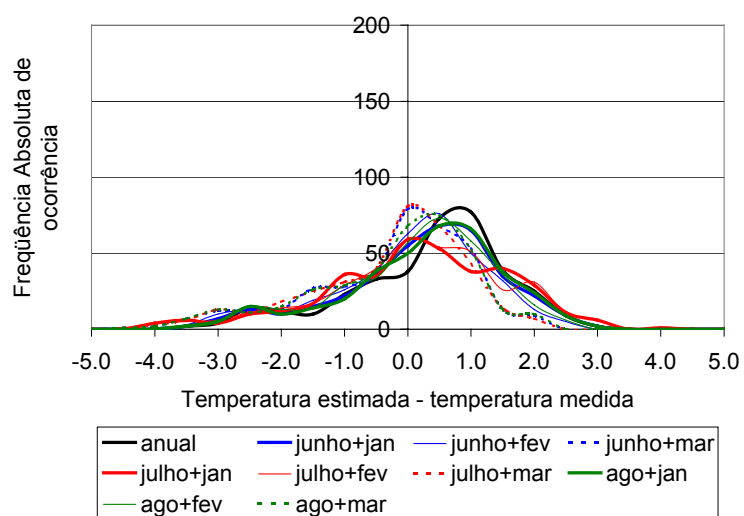


Figura B2. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o sótão da residência A.

Na Figura B2 observa-se que, no sótão da residência A, a faixa de variação da diferença entre valores das temperaturas máximas estimadas e medidas foi entre $-3,5^{\circ}\text{C}$ e $3,0^{\circ}\text{C}$, enquanto a variação da diferença entre temperaturas máximas estimadas e medidas no dormitório foi no máximo entre -2°C e $2,0^{\circ}\text{C}$ (Figura B1). Na residência A, o erro da equação estimativa da temperatura máxima, média e mínima no dormitório foi menor do que no sótão, e os dois ambientes tiveram pouca ocupação durante o período da medição. Mas a temperatura do sótão é mais influenciada pelos ganhos e perdas de calor do envoltório, apresentando assim, uma maior variabilidade entre temperatura estimada e a real temperatura interna.

Residência B

A Tabela B2 apresenta os valores do MBE e do RMSE para os dois ambientes da Residência B.

Tabela B2. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório e na Cozinha da Residência B.

	Temp. máxima Dormitório		Temp. média Dormitório		Temp. mínima Dormitório		Temp. máxima Cozinha		Temp. média Cozinha		Temp. mínima Cozinha	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	-0,08	0,45	-0,09	0,36	0,04	0,40	-0,05	0,59	0,01	0,39	0,04	0,42
Junho + janeiro	0,01	0,45	0,00	0,35	-0,12	0,47	-0,22	0,64	-0,17	0,43	-0,05	0,44
Junho + fevereiro	0,05	0,44	-0,04	0,35	0,02	0,40	-0,01	0,59	0,09	0,41	0,06	0,43
Junho + março	0,12	0,46	0,11	0,37	0,14	0,44	0,22	0,65	0,13	0,42	-0,14	0,45
Julho + janeiro	-0,18	0,48	-0,11	0,36	-0,09	0,42	-0,27	0,67	-0,27	0,47	-0,14	0,46
Julho + fevereiro	-0,19	0,48	-0,16	0,39	-0,13	0,43	-0,02	0,62	-0,06	0,42	-0,01	0,43
Julho + março	0,05	0,48	-0,05	0,38	-0,05	0,44	-0,04	0,64	-0,01	0,42	0,00	0,43
Agosto + janeiro	-0,07	0,46	-0,07	0,36	-0,10	0,42	-0,13	0,64	0,01	0,40	-0,03	0,44
Agosto + fevereiro	-0,13	0,46	0,05	0,35	0,06	0,40	0,02	0,62	0,15	0,42	-0,24	0,55
Agosto + março	0,01	0,45	0,07	0,36	0,04	0,41	0,14	0,63	0,13	0,42	0,09	0,43

No dormitório da residência B, o RMSE da equação “junho+fevereiro” para estimar a temperatura máxima interna, e o RMSE de outras duas equações (junho+janeiro e junho+fevereiro) para estimar a temperatura média interna, apresentaram valores um pouco inferiores ao RMSE da equação usando todos os dados anuais. Excetuando estes três casos, o RMSE das equações com dados anuais apresentaram menor valor que os RMSE das equações usando dados de dois meses para estimar as temperaturas internas: máximas, médias e mínimas.

A Figura B3 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório da residência B. Isto para exemplificar a estimativa com maior dispersão das temperaturas internas.

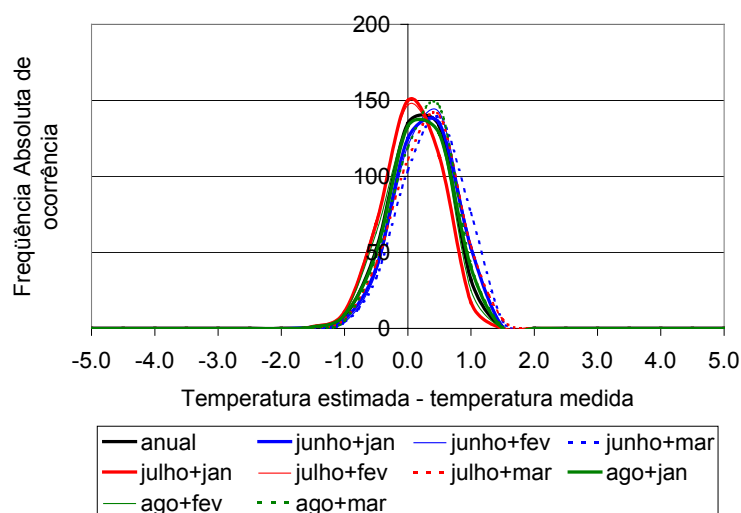


Figura B3. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório da residência B.

A Figura B4 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para a cozinha da residência B.

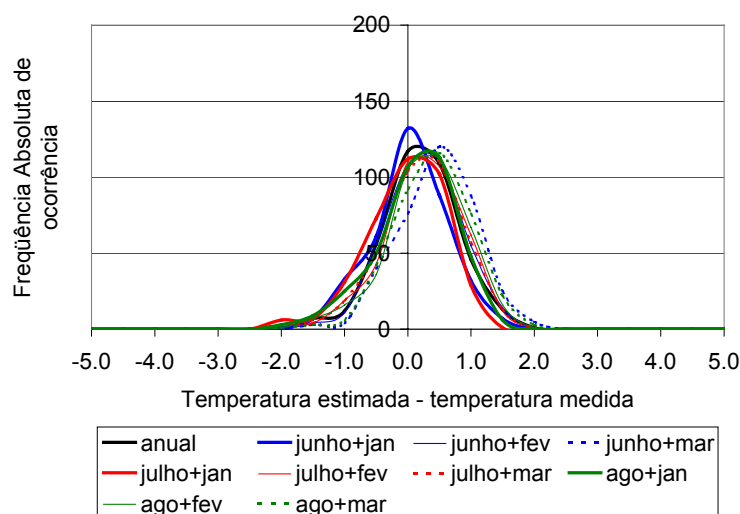


Figura B4. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para a cozinha da residência B.

Na Figura B3 observa-se que no dormitório da residência B a faixa de variação da diferença entre valores das temperaturas máximas estimadas e medidas foi entre -1°C e $1,5^{\circ}\text{C}$, enquanto a variação da diferença entre temperaturas máximas estimadas e medidas na cozinha foi no entre $-1,5^{\circ}\text{C}$ e $1,5^{\circ}\text{C}$, e as duas com uma distribuição normal.

Os valores do RMSE da residência B foram inferiores aos valores de RMSE da residência A. A inércia térmica da residência B e a orientação a norte garantiram a pouca amplitude térmica dos ambientes internos, e a pequena variação da temperatura interna com relação à temperatura externa. E com isto, as equações estimativas mantinham uma forte relação com uma média da temperatura externa de um número maior de dias do que os outros ambientes.

Residência C

A Tabela B3 apresenta os valores do MBE e do RMSE das temperaturas internas máximas, médias e mínimas estimadas a partir da média das médias da temperatura externa de dias anteriores comparadas com as temperaturas máximas, médias e mínimas medidas para dois ambientes da Residência C: o dormitório 1 e o dormitório 2. A Tabela B4 apresenta os valores de MBE e RMSE das temperaturas estimadas e medida nos ambientes do dormitório 3 e do escritório da residência C.

Tabela B3. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório 1 e no Dormitório 2 da Residência C.

	Temp. máxima Dormitório1		Temp. média Dormitório1		Temp. mínima Dormitório 1		Temp. máxima Dormitório2		Temp. média Dormitório2		Temp. mínima Dormitório 2	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	0,09	0,51	0,05	0,42	0,01	0,47	0,06	0,74	-0,02	0,39	-0,01	0,49
Junho + janeiro	0,10	0,55	0,20	0,48	0,16	0,50	0,18	0,77	0,05	0,39	-0,01	0,49
Junho + fevereiro	0,17	0,55	0,18	0,47	0,10	0,49	0,11	0,76	0,18	0,43	0,08	0,50
Junho + março	0,43	0,66	0,30	0,52	0,23	0,52	0,09	0,75	-0,07	0,41	0,04	0,49
Julho + janeiro	0,17	0,54	0,11	0,43	0,14	0,49	0,09	0,75	0,00	0,39	0,21	0,53
Julho + fevereiro	0,23	0,55	0,09	0,43	0,11	0,48	-0,07	0,77	-0,05	0,39	0,10	0,50
Julho +março	0,26	0,57	0,25	0,48	0,23	0,52	0,01	0,77	-0,04	0,39	0,08	0,50
Agosto + janeiro	-0,23	0,58	-0,20	0,55	-0,20	0,60	-0,52	0,93	-0,18	0,47	-0,23	0,57
Agosto + fevereiro	-0,14	0,56	-0,28	0,53	-0,24	0,55	-0,52	0,94	-0,39	0,58	-0,44	0,67
Agosto + março	-0,25	0,61	-0,08	0,49	-0,23	0,60	-0,94	1,20	-0,21	0,45	-0,06	0,50

Tabela B4. MBE e RMSE das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias estimadas com relação às temperaturas máximas, médias e mínimas diárias medidas no Dormitório 3 e no Escritório da Residência C.

	Temp. máxima Dormitório3		Temp. média Dormitório3		Temp. mínima Dormitório 3		Temp. máxima Escritório		Temp. média Escritório		Temp. mínima Escritório	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	-0,02	1,21	-0,07	0,65	-0,03	0,60	-0,04	1,65	-0,07	0,60	-0,03	0,46
Junho + janeiro	0,34	1,32	0,42	0,78	0,39	0,71	0,49	1,80	0,20	0,65	0,20	0,50
Junho + fevereiro	0,39	1,32	0,26	0,72	0,15	0,73	0,55	1,82	0,20	0,66	0,11	0,48
Junho + março	0,63	1,39	0,38	0,76	0,26	0,66	0,65	1,81	0,25	0,66	0,13	0,48
Julho + janeiro	0,19	1,24	0,31	0,72	0,42	0,73	0,13	1,66	0,07	0,60	0,29	0,54
Julho + fevereiro	0,05	1,22	0,25	0,70	0,37	0,81	0,03	1,66	0,10	0,61	0,04	0,47
Julho +março	0,29	1,25	0,35	0,74	0,32	0,68	0,16	1,66	0,18	0,62	0,08	0,47
Agosto + janeiro	-0,42	1,32	-0,19	0,74	-0,02	0,66	-0,40	1,71	-0,12	0,68	0,09	0,50
Agosto + fevereiro	-0,39	1,30	-0,35	0,78	-0,12	0,64	-0,44	1,72	-0,20	0,68	-0,08	0,47
Agosto + março	-0,24	1,27	-0,31	0,75	-0,10	0,65	-0,23	1,71	-0,29	0,72	-0,01	0,47

As equações usando dados de dois meses para estimar as temperaturas internas: máximas, médias e mínimas apresentaram valores superiores ao RMSE das equações com dados anuais, mas esta variação foi de $0,21^{\circ}\text{C}$, exceto na equação agosto+março que estima a temperatura máxima do dormitório 2, e que apresentou diferença de $0,46^{\circ}\text{C}$ com relação ao RMSE da equação estimativa anual.

Os menores valores de RMSE da temperatura máxima interna estimada ao redor das temperaturas máximas internas medidas na residência C aconteceram nas equações de estimativa do dormitório 1. Com relação ao RMSE das temperaturas médias, as equações de estimativa do dormitório 1 e o do dormitório 2 foram os que apresentaram os menores valores. Já os menores valores de RMSE das temperaturas mínimas das equações de estimativa ocorreram no dormitório 1, no dormitório 2, e no escritório. O dormitório 1 e o dormitório 2 são ambientes que apresentam contato com o porão, e por isto a temperatura interna varia pouco. Já no escritório, a pouca variação da temperatura mínima interna é devida ao fato de ser um ambiente desocupado.

A Figura B5 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 1 da residência C.

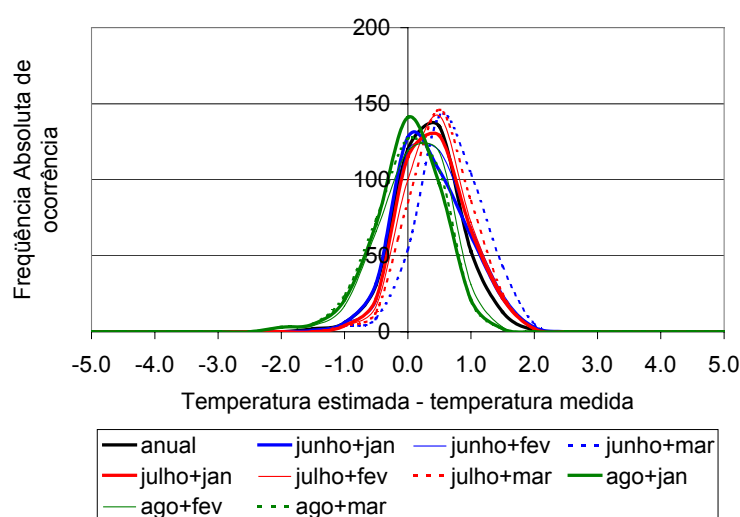


Figura B5. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 1 da residência C.

Na Figura B5 verifica-se que no dormitório 1 da residência C a faixa de variação da diferença entre valores das temperaturas máximas estimadas e medidas foi entre $-1,5^{\circ}\text{C}$ e $2,0^{\circ}\text{C}$.

A Figura B6 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 2 da residência C.

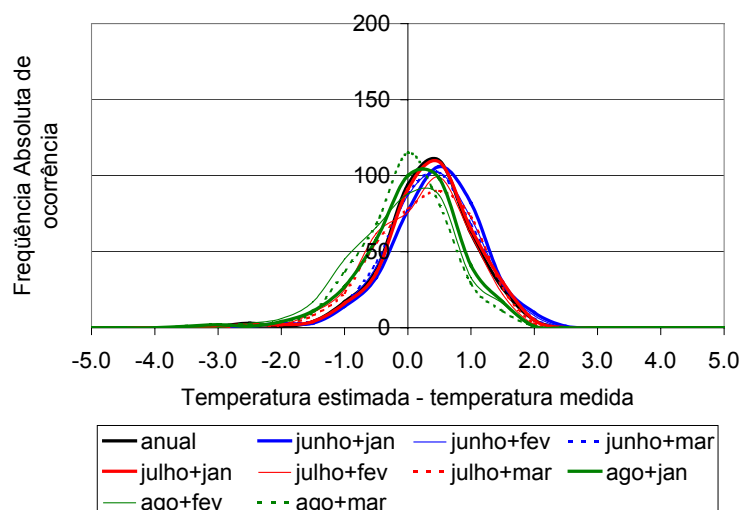


Figura B6. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 2 da residência C.

No dormitório 2 da residência C a faixa de variação da diferença entre valores das temperaturas máximas estimadas e medidas foi entre -2°C e $2,5^{\circ}\text{C}$.

A Figura B7 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 da residência C. Pela Figura B7 observa-se que o dormitório 3 apresentou uma grande variação na diferença entre valores das temperaturas máximas estimadas e medidas, apresentando valores de -4°C até $3,5^{\circ}\text{C}$.

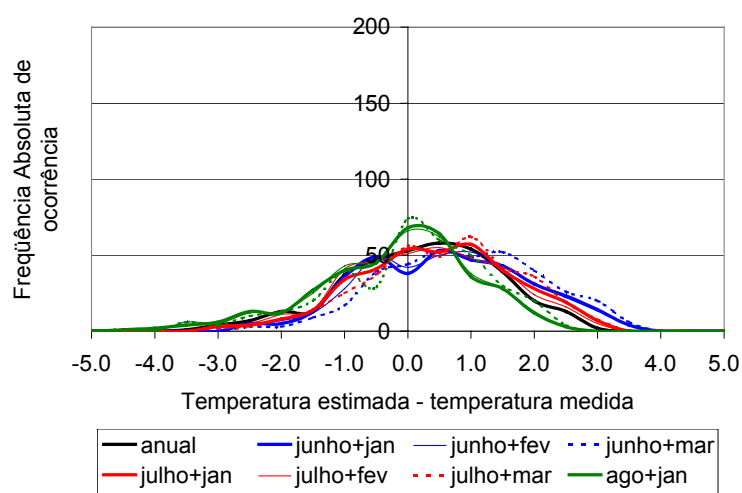


Figura B7. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 da residência C.

A Figura B8 mostra num gráfico de frequência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o escritório da residência C.

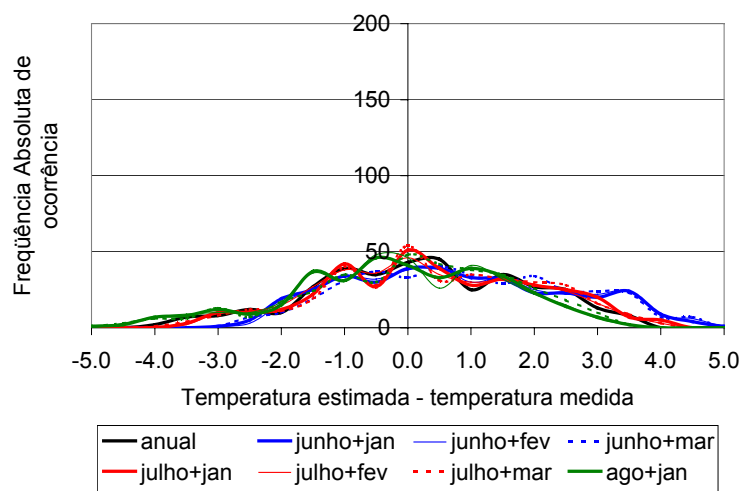


Figura B8. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o escritório da residência C.

O escritório da residência C apresentou uma grande variação na diferença entre valores das temperaturas máximas estimadas e medidas, apresentando valores de $-4,5^{\circ}\text{C}$ até 5°C .

O dormitório 1 e dormitório 2 apresentaram pouca dispersão na diferença entre valores das temperaturas máximas estimadas e medidas, enquanto o dormitório 3 e o escritório da

residência C apresentaram uma grande dispersão das diferenças das temperaturas máximas estimadas e medidas. Com isto, percebe-se que as equações estimativas da temperatura máxima do dormitório 3 e do escritório a partir da média das médias da temperatura externa não tiveram bons resultados. Por isso, também se analisou o MBE e o RMSE das equações estimativas da temperatura máxima destes dois ambientes a partir da média das máximas da temperatura externa.

A Tabela B5 apresenta os valores de MBE e RMSE das temperaturas máximas internas estimadas a partir das médias das temperaturas máximas externas de dias anteriores, comparadas com as temperaturas máximas internas medidas do dormitório 3 e do escritório da residência C. Com relação a estimar a temperatura máxima interna do dormitório 3 e do escritório da residência C, a mais forte correlação ocorreu com a temperatura máxima interna e a média das máximas da temperatura externa de dias anteriores do que com a correlação entre a temperatura máxima interna e a média das médias da temperatura externa de dias anteriores. Isto também ficou claro no uso das equações propostas, onde os RMSE das equações propostas usando a média das máximas da temperatura externa de dias anteriores apresentaram valores inferiores às equações usando a média das médias da temperatura externa de dias anteriores para estimar a temperatura máxima interna do dormitório 3 e do escritório da residência C.

Tabela B5. MBE e RMSE das temperaturas máximas estimadas (usando nas equações de regressão a médias das máximas da temperatura externa como variável independente) com relação às temperaturas máximas diárias medidas no Dormitório 3 e Escritório da Residência C.

	Temp. máxima Dormitório3 (tmax)		Temp. máxima Escritório (tmax)	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE
anual	0,05	0,88	0,08	1,09
Junho + janeiro	0,41	0,97	0,34	1,18
Junho + fevereiro	0,31	0,93	0,49	1,23
Junho + março	0,28	0,93	0,37	1,19
Julho + janeiro	0,44	0,98	0,36	1,15
Julho + fevereiro	0,34	0,94	0,31	1,14
Julho + março	0,32	0,94	0,32	1,14
Agosto + janeiro	-0,10	1,02	0,00	1,12
Agosto + fevereiro	0,04	1,01	-0,24	1,13
Agosto + março	-0,16	1,00	-0,31	1,14

Para exemplificar, a Figura B9 mostra num gráfico de freqüência a diferença das temperaturas máximas estimadas e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 da residência C. As temperaturas máximas internas do dormitório 3 foram estimadas a partir da média das máximas da temperatura externa.

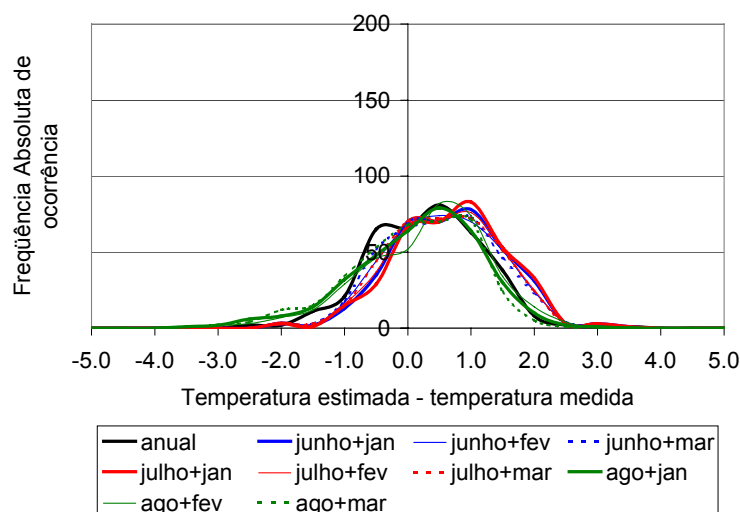


Figura B9. Gráfico de freqüência da diferença das temperaturas máximas estimadas (a partir da média das máximas da temperatura externa) e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 da residência C.

Na Figura B9 percebe-se que a variação na diferença entre temperatura máxima estimada a partir da média das máximas da temperatura externa e a temperatura máxima medida no dormitório 3 foi de -3°C até $2,5^{\circ}\text{C}$, dispersão menor do que a apresentada na Figura B7, onde a temperatura máxima estimada foi calculada a partir da média das médias da temperatura externa.

A ampla ventilação durante o período quente do dia no dormitório 3, junto com a pequena inércia térmica do seu envoltório, fazem com que as temperaturas internas deste ambiente respondam instantaneamente as variações da temperatura externa. Por isso, as temperaturas máximas internas mantêm uma relação mais forte com as temperaturas máximas externas.

A Figura B10 mostra num gráfico de freqüência a diferença das temperaturas máximas estimadas (a partir da média das máximas da temperatura externa) e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o dormitório 3 da residência C.

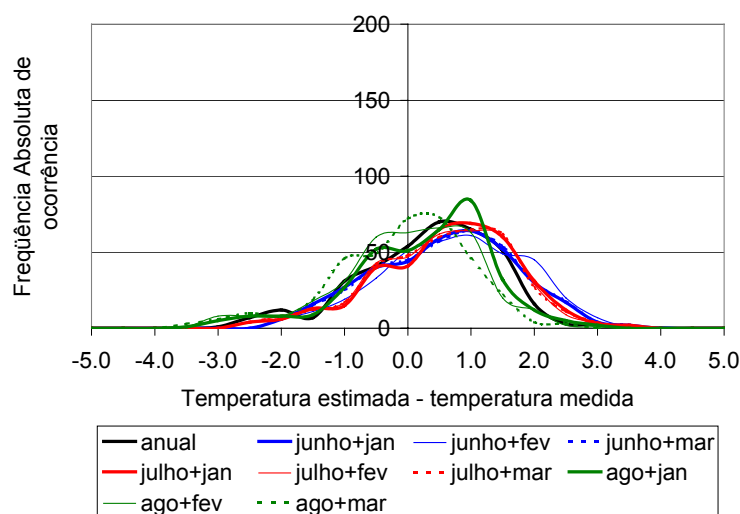


Figura B10. Gráfico de frequência da diferença das temperaturas máximas estimadas (a partir da média das máximas da temperatura externa) e as temperaturas máximas medidas no período de abril de 1998 a maio de 1999 para as dez equações propostas para o escritório da residência C.

Também no escritório da residência C, a variação na diferença entre temperatura máxima estimada a partir da média da temperatura máxima externa e a temperatura máxima medida (de $-3,5^{\circ}\text{C}$ a $3,0^{\circ}\text{C}$) foi menor do que a apresentada na Figura B8, onde a temperatura máxima estimada foi calculada a partir da média da temperatura externa. O escritório é um ambiente com muito vidro, a relação abertura por área é de 83%, e como manteve-se geralmente fechado durante a medição da temperatura interna, o sol causava o “efeito estufa”. Apesar de não ser uma relação linear, em dias de sol a temperatura máxima externa é mais elevada do que em dias sem sol, e a temperatura média do dia depende também das temperaturas noturnas. Por isso, as temperaturas máximas do escritório, que são influenciadas pela radiação solar, foram melhor determinadas pela temperatura máxima externa do que pela temperatura média diária.

APÊNDICE C – Resumo dos resultados das análises de regressão simples e multivariada da estimativa da temperatura horária dos oito ambientes estudados

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório - residência A					
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.96				
Coeficiente R ² ajustado	0.96				
Erro padrão	0.68				
Número de Observações	8024				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	2	102350.9	51175.5	109088.0	0
Resíduos	8021	3762.8	0.5		
Total	8023	106113.7			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		1.48	0.05	29.20	3.2E-178
Média temperatura externa 14 horas anteriores		0.90	0.00	298.95	0
Média radiação solar 113 horas anteriores		0.0073	0.00	45.61	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório - residência A					
Variável independente: temperatura externa horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.96				
Coeficiente R ² ajustado	0.96				
Erro padrão	0.77				
Número de Observações	8024				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	1	101375.0	101375.0	171612.1	0
Resíduos	8022	4738.8	0.6		
Total	8023	106113.7			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		0.67	0.05	12.54	9.47E-36
Média temperatura externa 14 horas anteriores		1.00	0.00	414.26	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Sótão - residência A					
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.97				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.95				
Coeficiente R ² ajustado	0.95				
Erro padrão	0.97				
Número de Observações	8032				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	2	132740.9	66370.5	71152.2	0
Resíduos	8029	7489.4	0.9		
Total	8031	140230.4			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		0.62	0.07	9.36	1.01E-20
Média temperatura externa 03 horas anteriores		0.90	0.00	228.96	0
Média radiação solar 105 horas anteriores		0.0127	0.00	58.20	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Sótão - residência A					
Variável independente: temperatura externa horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.96				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.92				
Coeficiente R ² ajustado	0.92				
Erro padrão	1.16				
Número de Observações	8134				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	1	129838.5	129838.5	96934.5	0
Resíduos	8132	10892.4	1.3		
Total	8133	140730.9			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		-0.59	0.08	-7.76	9.75E-15
Média temperatura externa 03 horas anteriores		1.06	0.00	311.34	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório - residência B					
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.99				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.97				
Coeficiente R ² ajustado	0.97				
Erro padrão	0.48				
Número de Observações	7993				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	2	68680.9	34340.5	149395.8	0
Resíduos	7990	1836.6	0.2		
Total	7992	70517.5			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		4.32	0.04	112.74	0
Média temperatura externa anteriores	54 horas	0.84	0.00	361.69	0
Média radiação solar	144 horas anteriores	0.0021	0.00	17.00	1.03E-63

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório - residência B					
Variável independente: temperatura externa horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.99				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.97				
Coeficiente R ² ajustado	0.97				
Erro padrão	0.49				
Número de Observações	8083				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	1	68677.7	68677.7	291142.3	0
Resíduos	8081	1906.2	0.2		
Total	8082	70583.9			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		4.06	0.04	114.18	0
Média temperatura externa anteriores	54 horas	0.87	0.00	539.58	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Cozinha - residência B					
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.96				
Coeficiente R ² ajustado	0.96				
Erro padrão	0.60				
Número de Observações	8004				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	2	60802.6	30401.3	85240.2	0
Resíduos	8001	2853.6	0.4		
Total	8003	63656.1			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		5.95	0.05	128.55	0
Média temperatura externa anteriores	31 horas	0.76	0.00	272.80	0
Média radiação solar	133 horas anteriores	0.0030	0.00	20.64	3.22E-92

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Cozinha - residência B					
Variável independente: temperatura externa horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.95				
Coeficiente R ² ajustado	0.95				
Erro padrão	0.61				
Número de Observações	8106				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	1	60691.2	60691.2	163060.2	0
Resíduos	8104	3016.3	0.4		
Total	8105	63707.5			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		5.60	0.04	128.08	0
Média temperatura externa anteriores	31 horas	0.80	0.00	403.81	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO						
Dormitório 1 - residência C						
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária						
Estatística de regressão						
Coeficiente de correlação (R)	0.99					
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.97					
Coeficiente R ² ajustado	0.97					
Erro padrão	0.51					
Número de Observações	7996					
Análise de variâncias (ANOVA)						
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>	
Regressão	2	75212.7	37606.4	146100.8	0	
Resíduos	7993	2057.4	0.3			
Total	7995	77270.1				
Teste dos parâmetros de regressão						
			<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção			4.30	0.04	116.16	0
Média temperatura externa anteriores	33 horas		0.85	0.00	358.93	0
Média radiação solar	141 horas anteriores		0.0023	0.00	18.04	2.44E-71

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO						
Dormitório 1 - residência C						
Variável independente: temperatura externa horária						
Estatística de regressão						
Coeficiente de correlação (R)	0.99					
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.97					
Coeficiente R ² ajustado	0.97					
Erro padrão	0.52					
Número de Observações	8104					
Análise de variâncias (ANOVA)						
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>	
Regressão	1	75205.1	75205.1	281037.7	0	
Resíduos	8102	2168.1	0.3			
Total	8103	77373.2				
Teste dos parâmetros de regressão						
			<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção			4.07	0.04	115.80	0
Média temperatura externa anteriores	33 horas		0.88	0.00	530.13	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório 2 - residência C					
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.97				
Coeficiente R ² ajustado	0.97				
Erro padrão	0.64				
Número de Observações	8005				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	2	94229.5	47114.8	115856.0	0
Resíduos	8002	3254.1	0.4		
Total	8004	97483.7			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		3.13	0.04	72.60	0
Média temperatura externa 08 horas anteriores		0.85	0.00	308.89	0
Média radiação solar 132 horas anteriores		0.0055	0.00	35.57	1.8E-257

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório 2 - residência C					
Variável independente: temperatura externa horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.96				
Coeficiente R ² ajustado	0.96				
Erro padrão	0.69				
Número de Observações	8129				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	1	93974.7	93974.7	199001.6	0
Resíduos	8127	3837.8	0.5		
Total	8128	97812.5			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		2.65	0.04	60.42	0
Média temperatura externa 08 horas anteriores		0.92	0.00	446.10	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório 3 - residência C					
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.97				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.95				
Coeficiente R ² ajustado	0.95				
Erro padrão	0.78				
Número de Observações	8005				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	2	92147.6	46073.8	75182.4	0
Resíduos	8002	4903.8	0.6		
Total	8004	97051.4			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		4.62	0.05	88.48	0
Média temperatura externa anteriores	06 horas	0.83	0.00	249.00	0
Média radiação solar	132 horas anteriores	0.0057	0.00	29.93	1.1E-186

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Dormitório 3 - residência C					
Variável independente: temperatura externa horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.97				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.94				
Coeficiente R ² ajustado	0.94				
Erro padrão	0.82				
Número de Observações	8131				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	1	91874.2	91874.2	135248.0	0
Resíduos	8129	5522.0	0.7		
Total	8130	97396.3			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		4.15	0.05	79.66	0
Média temperatura externa anteriores	06 horas	0.90	0.00	367.76	0

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Escritório - residência C					
Variáveis independentes: temperatura externa horária e radiação solar horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.96				
Coeficiente R ² ajustado	0.96				
Erro padrão	0.70				
Número de Observações	8079				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	2	108803.1	54401.6	109702.9	0
Resíduos	8076	4004.9	0.5		
Total	8078	112808.0			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		2.97	0.05	63.03	0
Média temperatura externa 05 horas anteriores		0.90	0.00	317.57	0
Média radiação solar 58 horas anteriores		0.0051	0.00	37.94	5.7E-290

RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO					
Escritório - residência C					
Variável independente: temperatura externa horária					
Estatística de regressão					
Coeficiente de correlação (R)	0.98				
Coeficiente de Determinação (R ²)	0.96				
Coeficiente R ² ajustado	0.96				
Erro padrão	0.76				
Número de Observações	8132				
Análise de variâncias (ANOVA)					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significância</i>
Regressão	1	108395.5	108395.5	185620.2	0
Resíduos	8130	4747.6	0.6		
Total	8131	113143.2			
Teste dos parâmetros de regressão					
		<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção		2.36	0.05	49.1	0
Média temperatura externa 05 horas anteriores		0.97	0.00	430.8	0

APÊNDICE D – Tabelas com as equações de regressão das temperaturas diárias dos oito ambientes estudados

Tabela D1. Equações de regressão por ambiente da residência A das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias dos meses de junho, julho e agosto combinados com os meses de janeiro, fevereiro e março.

Dormitório - residência A				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual * valor-P do intercepto = 77%	$T_{imx} = 1,08T_{emd02} - 0,06$	0,97	0,64	11403,1
Junho+janeiro	$T_{imx} = 1,12T_{emd02} - 0,90$	0,99	0,49	5275,8
Junho+fevereiro * valor-P do intercepto = 29%	$T_{imx} = 1,09T_{emd02} - 0,37$	0,99	0,49	4657,5
Junho+março * valor-P do intercepto = 84%	$T_{imx} = 1,06T_{emd02} + 0,05$	0,99	0,40	8568,6
Julho+janeiro	$T_{imx} = 1,12T_{emd02} - 1,04$	0,99	0,52	4314,4
Julho+fevereiro * valor-P do intercepto = 24%	$T_{imx} = 1,09T_{emd02} - 0,46$	0,99	0,53	3874,2
Julho+março * valor-P do intercepto = 97%	$T_{imx} = 1,06T_{emd02} + 0,01$	0,99	0,43	6998,6
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 42%	$T_{imx} = 1,10T_{emd02} - 0,33$	0,98	0,52	3651,7
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 52%	$T_{imx} = 1,06T_{emd02} + 0,27$	0,98	0,55	3146,9
Agosto+março	$T_{imx} = 1,04T_{emd02} + 0,74$	0,99	0,44	5643,9
Equações temperatura média diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imd} = 1,05T_{emd02} - 0,38$	0,98	0,43	23645,3
Junho+janeiro	$T_{imd} = 1,11T_{emd03} - 1,75$	0,99	0,43	6726,0
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 1,07T_{emd02} - 1,04$	0,99	0,39	7892,0
Junho+março	$T_{imd} = 1,06T_{emd03} - 0,80$	0,99	0,37	9942,1
Julho+janeiro	$T_{imd} = 1,10T_{emd02} - 1,42$	0,99	0,37	7931,8
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 1,07T_{emd02} - 0,95$	1,00	0,29	12331,3
Julho+março	$T_{imd} = 1,05T_{emd02} - 0,57$	1,00	0,28	15494,7
Agosto+janeiro	$T_{imd} = 1,06T_{emd02} - 0,60$	0,99	0,41	5584,7
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 67%	$T_{imd} = 1,04T_{emd02} - 0,12$	0,99	0,35	7292,3
Agosto+março * valor-P do intercepto = 31%	$T_{imd} = 1,02T_{emd02} + 0,24$	0,99	0,33	9880,1

Continua próxima página

Dormitório - residência A				
Equações temperatura mínima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
anual	$T_{imn} = 1,03T_{emd02} - 0,78$	0,97	0,56	13710,3
Junho+janeiro	$T_{imn} = 1,11T_{emd03} - 2,53$	0,99	0,55	4013,8
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 1,06T_{emd03} - 1,80$	0,99	0,54	4029,6
Junho+março	$T_{imn} = 1,06T_{emd03} - 1,77$	0,99	0,43	7361,9
Julho+janeiro	$T_{imn} = 1,07T_{emd02} - 1,74$	0,98	0,52	3891,0
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 1,04T_{emd02} - 1,22$	0,99	0,42	5610,9
Julho+março	$T_{imn} = 1,04T_{emd02} - 1,11$	0,99	0,41	7270,6
Agosto+janeiro	$T_{imn} = 1,07T_{emd03} - 1,46$	0,98	0,52	3355,0
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 24%	$T_{imn} = 1,01T_{emd02} - 0,43$	0,99	0,47	3823,8
Agosto+março	$T_{imn} = 1,02T_{emd03} - 0,64$	0,99	0,41	6086,1
Sótão - residência A				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 1,28T_{emd01} - 3,54$	0,92	1,26	4295,5
Junho+janeiro	$T_{imx} = 1,31T_{emd01} - 4,30$	0,97	1,04	1674,61
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 1,28T_{emd01} - 3,87$	0,97	0,92	2004,8
Junho+março	$T_{imx} = 1,21T_{emd01} - 2,61$	0,98	0,75	3275,3
Julho+janeiro	$T_{imx} = 1,35T_{emd02} - 5,23$	0,96	1,03	1590,5
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 1,31T_{emd02} - 4,45$	0,97	0,91	1920,3
Julho+março	$T_{imx} = 1,21T_{emd01} - 2,68$	0,98	0,79	2725,0
Agosto+janeiro	$T_{imx} = 1,30T_{emd01} - 4,04$	0,95	1,14	1139,4
Agosto+fevereiro	$T_{imx} = 1,27T_{emd01} - 3,56$	0,96	1,03	1304,1
Agosto+março	$T_{imx} = 1,19T_{emd01} - 2,71$	0,97	0,85	2054,0
Equações temperatura média diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imd} = 1,14T_{emd01} - 2,32$	0,96	0,78	9068,6
Junho+janeiro	$T_{imd} = 1,20T_{emd02} - 3,43$	0,98	0,64	3594,4
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 1,17T_{emd02} - 3,09$	0,99	0,57	4409,6
Junho+março	$T_{imd} = 1,13T_{emd02} - 2,31$	0,99	0,51	6099,9
Julho+janeiro	$T_{imd} = 1,21T_{emd02} - 3,77$	0,98	0,59	3851,3
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 1,19T_{emd02} - 3,39$	0,99	0,51	4992,8
Julho+março	$T_{imd} = 1,14T_{emd02} - 2,51$	0,99	0,46	7024,4
Agosto+janeiro	$T_{imd} = 1,18T_{emd02} - 3,03$	0,98	0,69	2436,6
Agosto+fevereiro	$T_{imd} = 1,16T_{emd02} - 2,65$	0,98	0,63	2847,5
Agosto+março	$T_{imd} = 1,11T_{emd02} - 1,78$	0,99	0,56	3951,9

Continua próxima página

Sótão - residência A				
Equações temperatura mínima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imn} = 1,06T_{emd02} - 2,06$	0,96	0,70	9350,5
Junho+janeiro	$T_{imn} = 1,11T_{emd03} - 3,06$	0,98	0,65	2965,6
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 1,09T_{emd02} - 2,61$	0,98	0,61	3288,7
Junho+março	$T_{imn} = 1,06T_{emd02} - 2,18$	0,99	0,58	4135,6
Julho+janeiro	$T_{imn} = 1,09T_{emd02} - 2,49$	0,98	0,62	2814,2
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 1,08T_{emd02} - 2,33$	0,98	0,54	3732,6
Julho+março	$T_{imn} = 1,05T_{emd02} - 1,86$	0,99	0,51	4766,7
Agosto+janeiro	$T_{imn} = 1,08T_{emd03} - 2,13$	0,97	0,64	2251,3
Agosto+fevereiro	$T_{imn} = 1,04T_{emd02} - 1,53$	0,98	0,56	2860,4
Agosto+março	$T_{imn} = 1,02T_{emd02} - 1,07$	0,98	0,53	3747,6

Tabela D2. Equações de regressão por ambiente da residência B das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias dos meses de junho, julho e agosto combinados com os meses de janeiro, fevereiro e março.

Dormitório - residência B				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 0,89T_{emd03} + 4,00$	0,98	0,44	16259,8
Junho+janeiro	$T_{imx} = 0,87T_{emd03} + 4,53$	0,99	0,41	4572,4
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,89T_{emd03} + 4,13$	0,98	0,47	3677,6
Junho+março	$T_{imx} = 0,92T_{emd03} + 3,55$	0,99	0,42	5804,5
Julho+janeiro	$T_{imx} = 0,89T_{emd03} + 3,90$	0,99	0,37	5240,5
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 0,91T_{emd03} + 3,46$	0,99	0,43	4056,3
Julho+março	$T_{imx} = 0,95T_{emd03} + 2,83$	0,99	0,39	6405,1
Agosto+janeiro	$T_{imx} = 0,86T_{emd03} + 4,67$	0,99	0,36	4595,7
Agosto+fevereiro	$T_{imx} = 0,88T_{emd03} + 4,17$	0,98	0,44	3367,2
Agosto+março	$T_{imx} = 0,92T_{emd03} + 3,44$	0,99	0,41	5075,6
Equações temperatura média diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imd} = 0,88T_{emd03} + 3,75$	0,99	0,35	25233,6
Junho+janeiro	$T_{imd} = 0,87T_{emd03} + 4,06$	0,99	0,33	6902,9
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 0,88T_{emd03} + 3,80$	0,99	0,35	6472,0
Junho+março	$T_{imd} = 0,91T_{emd03} + 3,30$	0,99	0,34	8734,0
Julho+janeiro	$T_{imd} = 0,89T_{emd03} + 3,52$	0,99	0,29	8412,9
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 0,90T_{emd03} + 3,25$	0,99	0,31	7794,6
Julho+março	$T_{imd} = 0,93T_{emd03} + 2,71$	0,99	0,29	11122,0
Agosto+janeiro	$T_{imd} = 0,86T_{emd03} + 4,21$	0,99	0,28	7730,9
Agosto+fevereiro	$T_{imd} = 0,88T_{emd03} + 3,89$	0,99	0,30	6811,5
Agosto+março	$T_{imd} = 0,91T_{emd03} + 3,26$	0,99	0,31	8810,8
Equações temperatura mínima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imn} = 0,87T_{emd03} + 3,66$	0,98	0,40	18478,7
Junho+janeiro	$T_{imn} = 0,87T_{emd04} + 3,50$	0,99	0,35	6140,5
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 0,87T_{emd03} + 3,64$	0,99	0,44	4054,0
Junho+março	$T_{imn} = 0,90T_{emd03} + 3,10$	0,99	0,44	5138,9
Julho+janeiro	$T_{imn} = 0,89T_{emd03} + 3,09$	0,99	0,35	5734,1
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 0,89T_{emd03} + 3,05$	0,99	0,42	4149,8
Julho+março	$T_{imn} = 0,92T_{emd03} + 2,48$	0,99	0,41	5607,4
Agosto+janeiro	$T_{imn} = 0,85T_{emd03} + 3,95$	0,99	0,33	5247,1
Agosto+fevereiro	$T_{imn} = 0,86T_{emd03} + 3,89$	0,99	0,40	3779,4
Agosto+março	$T_{imn} = 0,89T_{emd03} + 3,22$	0,99	0,41	4784,3

Continua próxima página

Cozinha - residência B				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 0,84T_{emd02} + 5,38$	0,96	0,59	8270,0
Junho+janeiro	$T_{imx} = 0,80T_{emd02} + 6,08$	0,98	0,47	2994,6
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,86T_{emd02} + 4,98$	0,98	0,59	2232,1
Junho+março	$T_{imx} = 0,89T_{emd02} + 4,56$	0,98	0,52	3568,2
Julho+janeiro	$T_{imx} = 0,83T_{emd03} + 5,38$	0,98	0,50	2490,6
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 0,89T_{emd03} + 4,32$	0,97	0,61	1933,0
Julho+março	$T_{imx} = 0,91T_{emd03} + 3,87$	0,98	0,60	2553,8
Agosto+janeiro	$T_{imx} = 0,81T_{emd03} + 5,95$	0,97	0,51	2013,3
Agosto+fevereiro	$T_{imx} = 0,87T_{emd03} + 4,80$	0,96	0,63	1564,5
Agosto+março	$T_{imx} = 0,89T_{emd02} + 4,48$	0,97	0,60	2246,5
Equações temperatura média diária		R ²		
Anual	$T_{imd} = 0,83T_{emd03} + 4,96$	0,98	0,39	17671,0
Junho+janeiro	$T_{imd} = 0,81T_{emd03} + 5,21$	0,99	0,34	5880,0
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 0,85T_{emd03} + 4,60$	0,99	0,41	4363,2
Junho+março	$T_{imd} = 0,86T_{emd03} + 4,43$	0,99	0,38	6415,6
Julho+janeiro	$T_{imd} = 0,83T_{emd03} + 4,68$	0,99	0,31	6376,3
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 0,87T_{emd03} + 4,02$	0,99	0,39	4479,5
Julho+março	$T_{imd} = 0,88T_{emd03} + 3,85$	0,99	0,35	7127,1
Agosto+janeiro	$T_{imd} = 0,81T_{emd03} + 5,39$	0,99	0,31	5318,7
Agosto+fevereiro	$T_{imd} = 0,85T_{emd03} + 4,66$	0,99	0,40	3647,0
Agosto+março	$T_{imd} = 0,86T_{emd03} + 4,43$	0,99	0,37	5501,0
Equações temperatura mínima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imn} = 0,81T_{emd03} + 4,77$	0,98	0,42	14635,7
Junho+janeiro	$T_{imn} = 0,83T_{emd04} + 4,25$	0,99	0,41	4075,8
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 0,84T_{emd03} + 4,14$	0,98	0,51	2719,2

Continua próxima página

Equações temperatura mínima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Junho+março	$T_{imn} = 0,83T_{emd03} + 4,16$	0,99	0,39	5515,8
Julho+janeiro	$T_{imn} = 0,83T_{emd04} + 4,16$	0,99	0,35	4795,1
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 0,84T_{emd03} + 4,07$	0,98	0,46	3058,0
Julho+março	$T_{imn} = 0,84T_{emd03} + 4,08$	0,99	0,32	7560,3
Agosto+janeiro	$T_{imn} = 0,82T_{emd02} + 4,49$	0,98	0,39	3357,8
Agosto+fevereiro	$T_{imn} = 0,73T_{emd03} + 6,23$	0,93	0,77	742,5
Agosto+março	$T_{imn} = 0,83T_{emd03} + 4,39$	0,99	0,37	5040,7

Tabela D3. Equações de regressão por ambiente da residência C das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias dos meses de junho, julho e agosto combinados com os meses de janeiro, fevereiro e março.

Dormitório 1 - residência C				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 0,90T_{emd02} + 4,31$	0,97	0,53	11972,7
Junho+janeiro	$T_{imx} = 0,84T_{emd02} + 5,57$	0,99	0,43	4283,4
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,85T_{emd02} + 5,43$	0,98	0,52	2975,8
Junho+março	$T_{imx} = 0,88T_{emd02} + 5,06$	0,99	0,46	4928,1
Julho+janeiro	$T_{imx} = 0,87T_{emd03} + 5,01$	0,99	0,37	5376,6
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 0,88T_{emd02} + 4,86$	0,98	0,47	3461,2
Julho+março	$T_{imx} = 0,90T_{emd02} + 4,48$	0,99	0,40	6125,4
Agosto+janeiro	$T_{imx} = 0,95T_{emd02} + 2,94$	0,98	0,44	3683,2
Agosto+fevereiro	$T_{imx} = 0,96T_{emd02} + 2,82$	0,98	0,53	2713,5
Agosto+março	$T_{imx} = 0,97T_{emd02} + 2,51$	0,99	0,48	4297,7
Equações temperatura média diária		R ²		
Anual	$T_{imd} = 0,89T_{emd02} + 3,89$	0,98	0,41	19125,4
Junho+janeiro	$T_{imd} = 0,85T_{emd02} + 4,87$	0,99	0,36	6121,9
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 0,85T_{emd02} + 4,85$	0,99	0,38	5757,6
Junho+março	$T_{imd} = 0,87T_{emd02} + 4,56$	0,99	0,37	7591,1
Julho+janeiro	$T_{imd} = 0,87T_{emd02} + 4,37$	0,99	0,30	8408,4
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 0,87T_{emd02} + 4,35$	0,99	0,31	7948,8
Julho+março	$T_{imd} = 0,89T_{emd02} + 4,09$	0,99	0,30	11093,9
Agosto+janeiro	$T_{imd} = 0,96T_{emd03} + 2,18$	0,99	0,42	3996,2
Agosto+fevereiro	$T_{imd} = 0,94T_{emd02} + 2,52$	0,98	0,46	3453,2
Agosto+março	$T_{imd} = 0,96T_{emd02} + 2,30$	0,99	0,45	4739,0
Equações temperatura mínima diária		R ²		
Anual	$T_{imn} = 0,88T_{emd02} + 3,53$	0,98	0,47	14906,6
Junho+janeiro	$T_{imn} = 0,86T_{emd02} + 4,10$	0,98	0,46	3806,7
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 0,85T_{emd02} + 4,25$	0,99	0,46	3792,0
Junho+março	$T_{imn} = 0,87T_{emd02} + 3,96$	0,99	0,44	5342,3
Julho+janeiro	$T_{imn} = 0,87T_{emd02} + 3,87$	0,99	0,36	5726,1
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 0,86T_{emd02} + 4,05$	0,99	0,36	5742,1
Julho+março	$T_{imn} = 0,88T_{emd02} + 3,75$	0,99	0,33	8955,0
Agosto+janeiro	$T_{imn} = 0,96T_{emd03} + 1,66$	0,98	0,48	3145,3
Agosto+fevereiro	$T_{imn} = 0,93T_{emd02} + 2,24$	0,98	0,53	2536,7
Agosto+março	$T_{imn} = 0,95T_{emd03} + 1,83$	0,99	0,48	4069,5

Continua próxima página

Dormitório 2 - residência C				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 1,02T_{emd01} + 1,83$	0,96	0,76	7812,8
Junho+janeiro	$T_{imx} = 1,00T_{emd01} + 2,37$	0,98	0,55	3670,6
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,99T_{emd01} + 2,51$	0,98	0,62	2898,4
Junho+março	$T_{imx} = 0,99T_{emd01} + 2,49$	0,99	0,54	4662,7
Julho+janeiro	$T_{imx} = 1,02T_{emd01} + 1,86$	0,97	0,68	2279,4
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 1,02T_{emd02} + 1,70$	0,98	0,65	2449,4
Julho+março	$T_{imx} = 1,02T_{emd02} + 1,78$	0,98	0,64	3154,9
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 47%	$T_{imx} = 1,08T_{emd01} + 0,33$	0,98	0,62	2539,4
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 65%	$T_{imx} = 1,08T_{emd02} + 0,21$	0,98	0,63	2443,6
Agosto+março * valor-P do intercepto = 12%	$T_{imx} = 1,06T_{emd01} + 0,64$	0,98	0,61	3231,7
Equações temperatura média diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imd} = 0,98T_{emd02} + 1,41$	0,99	0,39	26412,5
Junho+janeiro	$T_{imd} = 0,97T_{emd02} + 1,69$	0,99	0,34	9072,6
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 0,97T_{emd02} + 1,82$	0,99	0,37	7501,0
Junho+março	$T_{imd} = 0,95T_{emd02} + 1,99$	0,99	0,34	10918,1
Julho+janeiro	$T_{imd} = 0,99T_{emd02} + 1,22$	1,00	0,25	15205,9
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 0,98T_{emd02} + 1,38$	0,99	0,29	11231,1
Julho+março	$T_{imd} = 0,97T_{emd02} + 1,60$	1,00	0,25	18083,6
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 76%	$T_{imd} = 1,04T_{emd02} + 0,08$	0,99	0,33	8045,5
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 28%	$T_{imd} = 1,03T_{emd02} + 0,29$	0,99	0,36	6611,7
Agosto+março	$T_{imd} = 1,01T_{emd02} + 0,60$	0,99	0,32	10376,7

Continua próxima página

Dormitório 2 - residência C				
Equações temperatura mínima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imn} = 0,94T_{emd02} + 1,26$	0,98	0,49	15130,0
Junho+janeiro	$T_{imn} = 0,95T_{emd02} + 1,06$	0,99	0,51	3942,9
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 0,95T_{emd02} + 1,15$	0,99	0,52	3746,2
Junho+março	$T_{imn} = 0,94T_{emd02} + 1,31$	0,99	0,45	5913,1
Julho+janeiro	$T_{imn} = 0,95T_{emd02} + 1,28$	0,99	0,42	5070,4
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 0,94T_{emd02} + 1,37$	0,99	0,43	4775,1
Julho+março	$T_{imn} = 0,93T_{emd02} + 1,56$	0,99	0,36	8274,1
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 62%	$T_{imn} = 0,99T_{emd02} + 0,20$	0,98	0,52	2856,9
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 40%	$T_{imn} = 0,98T_{emd02} + 0,34$	0,98	0,54	2734,5
Agosto+março * valor-P do intercepto = 07%	$T_{imn} = 0,97T_{emd03} + 0,59$	0,99	0,47	4339,9
Dormitório 3 - residência C				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 0,92T_{emx01} + 3,15$	0,94	0,88	5774,9
Junho+janeiro	$T_{imx} = 0,90T_{emx01} + 3,97$	0,96	0,77	1532,5
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,90T_{emx01} + 3,87$	0,96	0,83	1342,7
Junho+março	$T_{imx} = 0,88T_{emx01} + 4,31$	0,97	0,81	1785,7
Julho+janeiro	$T_{imx} = 0,91T_{emx01} + 3,77$	0,96	0,78	1528,1
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 0,91T_{emx01} + 3,67$	0,96	0,84	1341,7
Julho+março	$T_{imx} = 0,89T_{emx01} + 4,12$	0,97	0,82	1814,9
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 19%	$T_{imx} = 1,01T_{emx02} + 0,89$	0,96	0,86	1288,5
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 13%	$T_{imx} = 1,01T_{emx02} + 1,03$	0,96	0,88	1243,7
Agosto+março	$T_{imx} = 0,97T_{emx02} + 1,76$	0,97	0,84	1773,6

Continua próxima página

Dormitório 3 - residência C				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 0,98T_{emd01} + 4,17$	0,89	1,22	2799,9
Junho+janeiro	$T_{imx} = 0,87T_{emd01} + 6,83$	0,92	1,15	650,5
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,88T_{emd01} + 6,67$	0,91	1,23	586,3
Junho+março	$T_{imx} = 0,91T_{emd01} + 6,28$	0,93	1,19	798,3
Julho+janeiro	$T_{imx} = 0,94T_{emd01} + 5,22$	0,92	1,11	726,3
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 0,94T_{emd01} + 5,08$	0,92	1,18	649,1
Julho+março	$T_{imx} = 0,97T_{emd01} + 4,69$	0,94	1,15	888,9
Agosto+janeiro	$T_{imx} = 1,07T_{emd02} + 1,90$	0,93	1,05	832,7
Agosto+fevereiro	$T_{imx} = 1,05T_{emd01} + 2,34$	0,92	1,17	691,6
Agosto+março	$T_{imx} = 1,07T_{emd01} + 2,08$	0,94	1,13	954,7
Equações temperatura média diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imd} = 0,93T_{emd02} + 3,46$	0,96	0,65	8947,1
Junho+janeiro	$T_{imd} = 0,90T_{emd02} + 4,57$	0,98	0,56	2900,0
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 0,88T_{emd01} + 4,83$	0,98	0,58	2607,8
Junho+março	$T_{imd} = 0,90T_{emd01} + 4,53$	0,98	0,59	3233,2
Julho+janeiro	$T_{imd} = 0,93T_{emd02} + 3,84$	0,98	0,53	3036,5
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 0,90T_{emd01} + 4,40$	0,98	0,59	2324,4
Julho+março	$T_{imd} = 0,92T_{emd01} + 4,09$	0,98	0,60	2939,5
Agosto+janeiro	$T_{imd} = 1,04T_{emd02} + 1,05$	0,98	0,54	2973,6
Agosto+fevereiro	$T_{imd} = 1,01T_{emd02} + 1,51$	0,97	0,62	2209,2
Agosto+março	$T_{imd} = 1,02T_{emd02} + 1,34$	0,98	0,58	3231,3
Dormitório 3 - residência C				
Equações temperatura mínima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imn} = 0,89T_{emd02} + 3,13$	0,95	0,71	6735,2
Junho+janeiro	$T_{imn} = 0,90T_{emd02} + 3,34$	0,98	0,60	2511,3
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 0,87T_{emd01} + 3,73$	0,97	0,66	1955,4
Junho+março	$T_{imn} = 0,89T_{emd02} + 3,42$	0,98	0,61	2927,6
Julho+janeiro	$T_{imn} = 0,90T_{emd02} + 3,37$	0,98	0,50	3159,0
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 0,87T_{emd01} + 3,95$	0,98	0,53	2720,7
Julho+março	$T_{imn} = 0,89T_{emd02} + 3,48$	0,98	0,53	3536,3
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 07%	$T_{imn} = 1,00T_{emd02} + 0,85$	0,97	0,62	2106,7
Agosto+fevereiro	$T_{imn} = 0,97T_{emd02} + 1,37$	0,97	0,67	1707,7
Agosto+março * valor-P do intercepto = 07%	$T_{imn} = 0,98T_{emd02} + 1,18$	0,98	0,61	2719,5

Escritório - residência C				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 0,97T_{emx01} + 2,58$	0,92	1,09	4128,2
Junho+janeiro	$T_{imx} = 0,89T_{emx01} + 4,71$	0,93	1,04	831,8
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,89T_{emx01} + 4,86$	0,93	1,09	748,8
Junho+março	$T_{imx} = 0,89T_{emx01} + 4,74$	0,94	1,11	987,5
Julho+janeiro	$T_{imx} = 0,95T_{emx01} + 3,33$	0,92	1,19	717,4
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 0,94T_{emx01} + 3,51$	0,92	1,24	650,9
Julho+março	$T_{imx} = 0,94T_{emx01} + 3,52$	0,94	1,25	868,7
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 11%	$T_{imx} = 1,03T_{emx01} + 1,09$	0,96	0,90	1301,6
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 06%	$T_{imx} = 1,01T_{emx01} + 1,32$	0,95	0,94	1162,2
Agosto+março	$T_{imx} = 1,00T_{emx01} + 1,49$	0,96	0,97	1468,3
Escritório - residência A				
Equações temperatura máxima diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imx} = 1,00T_{emd01} + 4,31$	0,81	1,66	1574,6
Junho+janeiro	$T_{imx} = 0,85T_{emd01} + 7,96$	0,85	1,57	333,4
Junho+fevereiro	$T_{imx} = 0,85T_{emd01} + 8,02$	0,84	1,63	304,6
Junho+março	$T_{imx} = 0,90T_{emd01} + 7,08$	0,88	1,64	414,7
Julho+janeiro	$T_{imx} = 0,96T_{emd01} + 5,31$	0,85	1,68	328,8
Julho+fevereiro	$T_{imx} = 0,95T_{emd01} + 5,42$	0,84	1,74	300,9
Julho+março	$T_{imx} = 1,00T_{emd01} + 4,51$	0,87	1,75	411,3
Agosto+janeiro	$T_{imx} = 1,07T_{emd01} + 2,49$	0,88	1,49	433,0
Agosto+fevereiro	$T_{imx} = 1,06T_{emd01} + 2,66$	0,87	1,55	393,8
Agosto+março * valor-P do intercepto = 09%	$T_{imx} = 1,11T_{emd01} + 1,82$	0,90	1,56	532,8
Equações temperatura média diária		R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Anual	$T_{imd} = 0,96T_{emd01} + 2,55$	0,97	0,60	11186,7
Junho+janeiro	$T_{imd} = 0,92T_{emd01} + 3,65$	0,98	0,52	3491,4
Junho+fevereiro	$T_{imd} = 0,91T_{emd01} + 3,86$	0,98	0,53	3288,2
Junho+março	$T_{imd} = 0,93T_{emd01} + 3,50$	0,99	0,54	4125,8
Julho+janeiro	$T_{imd} = 0,96T_{emd01} + 2,69$	0,98	0,59	2660,4
Julho+fevereiro	$T_{imd} = 0,95T_{emd01} + 2,93$	0,98	0,60	2519,1

Continua próxima página

Julho+março	$T_{imd} = 0,97T_{emd01} + 2,59$	0,98	0,60	3258,6
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 04%	$T_{imd} = 1,04T_{emd02} + 0,83$	0,98	0,52	3239,1
Agosto+fevereiro	$T_{imd} = 1,01T_{emd02} + 1,38$	0,98	0,58	2486,3
Agosto+março	$T_{imd} = 1,02T_{emd02} + 1,08$	0,98	0,56	3475,7
Escritório - residência C				
Equações temperatura mínima diária		R^2	Erro padrão (°C)	$F_{calculado}$
Anual	$T_{imn} = 0,96T_{emd02} + 0,87$	0,98	0,47	17569,8
Junho+janeiro	$T_{imn} = 0,97T_{emd02} + 0,89$	0,99	0,42	5872,0
Junho+fevereiro	$T_{imn} = 0,95T_{emd02} + 1,22$	0,99	0,50	3994,5
Junho+março	$T_{imn} = 0,95T_{emd02} + 1,24$	0,99	0,40	7600,0
Julho+janeiro	$T_{imn} = 0,97T_{emd02} + 0,98$	0,99	0,37	6475,7
Julho+fevereiro	$T_{imn} = 0,94T_{emd02} + 1,36$	0,99	0,47	3970,7
Julho+março	$T_{imn} = 0,94T_{emd02} + 1,40$	0,99	0,37	7942,4
Agosto+janeiro * valor-P do intercepto = 88%	$T_{imn} = 1,01T_{emd02} - 0,05$	0,99	0,42	4578,6
Agosto+fevereiro * valor-P do intercepto = 28%	$T_{imn} = 0,98T_{emd02} + 0,41$	0,98	0,50	3139,8
Agosto+março * valor-P do intercepto = 08%	$T_{imn} = 0,98T_{emd02} + 0,48$	0,99	0,40	6189,6

APÊNDICE E – Tabela com o número de dias anteriores usado para calcular a média da temperatura externa com mais forte correlação com as temperaturas internas diárias

Tabela E1. Número de dias anteriores usados para calcular a média das médias da temperatura externa (ou média das máximas da temperatura externa) que apresentaram a correlação mais forte com as temperaturas internas máximas, médias e mínimas, dos meses mais quentes e mais frios combinados dois a dois.

	Junho + janeiro	Junho + fevereiro	Junho + março	Julho + janeiro	Julho + fevereiro	Julho + março	Agosto + janeiro	Agosto + fevereiro	Agosto + março
Residência A									
T _{max} Dormitório	02	02	02	02	02	02	02	02	02
T _{med} Dormitório	03	02	03	02	02	02	02	02	02
T _{min} Dormitório	03	03	03	02	02	02	03	02	02
T _{max} Sótão	01	01	01	02	02	01	01	01	01
T _{med} Sótão	02	02	02	02	02	02	02	02	02
T _{min} Sótão	03	02	02	02	02	02	03	02	02
Residência B									
T _{max} Dormitório	03	03	03	03	03	03	03	03	03
T _{med} Dormitório	03	03	03	03	03	03	03	03	03
T _{min} Dormitório	04	03	03	03	03	03	03	03	03
T _{max} Cozinha	02	02	02	03	03	03	03	03	02
T _{med} Cozinha	03	03	03	03	03	03	03	03	03
T _{min} Cozinha	04	03	03	04	03	03	02	03	03
Residência C									
T _{max} Dormitório 1	02	02	02	03	02	02	02	02	02
T _{med} Dormitório 1	02	02	02	02	02	02	03	02	02
T _{min} Dormitório 1	02	02	02	02	02	02	03	02	03
T _{max} Dormitório 2	01	01	01	01	02	02	01	02	01
T _{med} Dormitório 2	02	02	02	02	02	02	02	02	02
T _{min} Dormitório 2	02	02	02	02	02	02	02	02	03
T _{max} Dormitório 3*	01	01	01	01	01	01	02	02	02
T _{max} Dormitório 3	01	01	01	01	01	01	02	01	01
T _{med} Dormitório 3	02	01	01	02	01	01	02	02	02
T _{min} Dormitório 3	02	01	02	02	01	02	02	02	02
T _{max} Escritório*	01	01	01	01	01	01	01	01	01
T _{max} Escritório	01	01	01	01	01	01	01	01	01
T _{med} Escritório	01	01	01	01	01	01	02	02	02
T _{min} Escritório	02	02	02	02	02	02	02	02	02

* As correlações das temperaturas máximas destes ambientes foram calculadas com a média das máximas da temperatura externa.

APÊNDICE F – Tabela com as equações de regressão e os resultados estatísticos da estimativa das temperaturas internas diárias das moradias da Vila Tecnológica de Curitiba / PR.

Tabela F1. Equações de regressão por construtora da Vila Tecnológica de Curitiba para determinação da temperatura interna máxima, média e mínima usando como variável independente a média da temperatura externa, ou a média das temperaturas externas máximas, ou a média das temperaturas externas mínimas T_{ehm} (°C).

Construtora		Equação	R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
MLC	T. máxima	$T_{imx} = 1,02T_{emd01} + 5,66$	0,96	1,48	936,9
	T. média	$T_{imd} = 1,00T_{emd02} + 3,20$	0,98	0,93	2286,8
	T. mínima	$T_{imn} = 0,98T_{emd02} + 0,76$	0,97	1,11	1519,8
Batistella	T. máxima	$T_{imx} = 0,92T_{emd01} + 10,18$	0,95	1,52	735,2
	T. média	$T_{imd} = 0,98T_{emd01} + 3,51$	0,98	0,85	2606,3
	T. mínima	$T_{imn} = 0,91T_{emn01} + 4,98$	0,98	0,98	2250,1
Kuerten	T. máxima	$T_{imx} = 0,90T_{emx01} + 3,06$	0,93	1,59	588,0
	T. média	$T_{imd} = 0,90T_{emd01} + 4,66$	0,99	0,76	2792,9
	T. mínima	$T_{imn} = 0,85T_{emn01} + 6,39$	0,99	0,77	3066,6
Constroyer	T. máxima	$T_{imx} = 0,84T_{emd02} + 8,08$	0,96	1,23	917,6
	T. média	$T_{imd} = 0,85T_{emd02} + 6,23$	0,97	0,99	1455,9
	T. mínima	$T_{imn} = 0,84T_{emd02} + 4,85$	0,97	1,05	1247,4
Andrade Gutierrez	T. máxima	$T_{imx} = 0,91T_{emd01} + 7,70$	0,97	1,08	1403,2
	T. média	$T_{imd} = 0,95T_{emd02} + 4,52$	0,99	0,74	3224,2
	T. mínima	$T_{imn} = 1,01T_{emd02} + 1,06$	0,98	1,06	1783,8
Todeschini	T. máxima	$T_{imx} = 0,98T_{emd01} + 9,25$	0,95	1,28	739,7
	T. média	$T_{imd} = 0,86T_{emd01} + 4,73$	0,98	0,80	2280,3
	T. mínima	$T_{imn} = 0,89T_{emd02} + 1,25$	0,97	1,01	1545,1
ABC	T. máxima	$T_{imx} = 0,78T_{emd01} + 9,37$	0,96	1,10	1010,2
	T. média	$T_{imd} = 0,86T_{emd02} + 4,56$	0,99	0,59	4152,6
	T. mínima	$T_{imn} = 0,81T_{emn01} + 6,67$	0,98	0,86	2271,8
Eternit	T. máxima * valor-P do intercepto = 11%	$T_{imx} = 0,95T_{emx01} + 1,74$	0,92	1,82	505,3
	T. média	$T_{imd} = 0,94T_{emd01} + 3,90$	0,98	0,97	1890,3
	T. mínima	$T_{imn} = 0,85T_{emn01} + 6,49$	0,98	0,96	2047,2

Continua próxima página

Construtora		Equação	R ²	Erro padrão (°C)	F _{calculado}
Facicasas	T. máxima	$T_{imx} = 0,94T_{emd01} + 6,51$	0,95	1,44	853,6
	T. média	$T_{imd} = 0,92T_{emd02} + 3,78$	0,99	0,75	2946,2
	T. mínima * valor-P do intercepto = 60%	$T_{imn} = 0,94T_{emd02} + 0,23$	0,97	1,10	1447,6
Paineira	T. máxima	$T_{imx} = 1,03T_{emd01} + 5,85$	0,97	1,34	1164,7
	T. média	$T_{imd} = 1,02T_{emd02} + 3,49$	0,98	0,91	2484,5
	T. mínima	$T_{imn} = 1,00T_{emd02} + 1,08$	0,98	1,02	1874,4
Cohab-Pará	T. máxima	$T_{imx} = 0,89T_{emd02} + 6,75$	0,96	1,26	981,5
	T. média	$T_{imd} = 1,00T_{emd02} + 1,89$	0,99	0,75	3521,9
	T. mínima * valor-P do intercepto = 8%	$T_{imn} = 1,01T_{emd02} - 0,71$	0,98	1,00	2005,7
Castellamare	T. máxima	$T_{imx} = 1,03T_{emd02} + 5,53$	0,95	1,63	791,6
	T. média	$T_{imd} = 1,02T_{emd02} + 2,39$	0,98	1,06	1821,1
	T. mínima * valor-P do intercepto = 24%	$T_{imn} = 0,96T_{emd02} + 0,60$	0,97	1,25	1163,1
Tetolar	T. máxima	$T_{imx} = 0,93T_{emd01} + 7,99$	0,96	1,31	999,4
	T. média	$T_{imd} = 0,93T_{emd02} + 4,10$	0,98	0,80	2663,5
	T. mínima	$T_{imn} = 0,83T_{emn02} + 7,11$	0,97	1,12	1350,9
CHJ	T. máxima	$T_{imx} = 0,96T_{emd02} + 6,83$	0,95	1,45	853,8
	T. média	$T_{imd} = 0,96T_{emd02} + 3,09$	0,98	0,84	2595,0
	T. mínima * valor-P do intercepto = 60%	$T_{imn} = 0,95T_{emd02} + 0,24$	0,97	1,17	1313,2