

ESTUDO COMPARATIVO DE TEMPERATURAS INTERNAS OBTIDAS COM SIMULAÇÕES E MEDIÇÕES *IN LOCO* PARA UM PROTÓTIPO HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL

Giane de C. Grigoletti (1); Miguel Aloysio Sattler (2)

(1) (2) UFRGS, Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º andar – NORIE;
tel: (0**51) 3316 3900, fax: (0**51) 3316 4054;

(1) e-mail: grigoletti@genesis.cpgec.ufrgs.br (2) e-mail: sattler@vortex.ufrgs.br

RESUMO

Programas de simulação têm sido muito usados na previsão e avaliação do desempenho térmico de edificações, com a intenção de prever o comportamento térmico da edificação, ainda em sua fase de projeto. No entanto, é extremamente difícil reproduzir e simular as condições térmicas reais no interior e exterior das edificações. Para o desenvolvimento dos programas, aproximações são adotadas. Daí a importância da verificação da precisão dos dados fornecidos através de simulações com tais programas e medições reais obtidas *in loco*, como uma forma de validação dos mesmos.

Este trabalho apresenta resultados da comparação de medições para temperaturas internas, realizadas *in loco*, para um protótipo de habitação de interesse social, e resultados obtidos através de simulações com o programa *Thermal Design* (THEDES). O objetivo foi verificar a similaridade entre os resultados obtidos através de medições e os obtidos através de simulações.

Os resultados obtidos com as simulações usando o programa THEDES indicam temperaturas superiores às temperaturas obtidas *in loco*, para a situação de verão e temperaturas inferiores às temperaturas *in loco*, para a situação de inverno. Uma avaliação preliminar dos resultados obtidos com o programa aponta para um desempenho térmico inferior ao observado *in loco*, no que diz respeito às temperaturas internas.

ABSTRACT

Simulation tools have been frequently used for evaluating the thermal performance of buildings in order to predict the thermal behavior at the design phase. However, the real thermal conditions inside and outside the buildings are extremely difficult to reproduce and simulate. The tools are based on mathematical algorithms that have several limitations. Thus, in order to verify the precision of results obtained through the use of tools it is important to compare results supplied through simulations with such programs and the real measurements obtained *in loco*.

This work presents results of a comparison between measurements for internal temperature obtained *in loco*, for a low income prototype, and those obtained through simulations with the tool *Thermal Design* (THEDES), invented by one of the authors. The objective is to verify how similar the data obtained through measurements are when compared to those obtained through simulations.

It was found that the interior temperatures obtained with the tool THEDES are higher than those obtained *in loco*, in summer; and are lower in winter. A preliminary evaluation with the tool would indicate a thermal performance, as far as indoor temperatures are concerned, inferior to the real measured ones.

1. INTRODUÇÃO

Programas de simulação têm sido muito usados na previsão e avaliação de desempenho térmico de edificações e são importantes ferramentas para a predição do comportamento térmico da edificação, ainda na fase de concepção do projeto. No entanto, é extremamente difícil simular as condições térmicas reais no interior das edificações. Para o desenvolvimento dos programas, modelos matemáticos, para a representação de fenômenos físicos envolvidos nas trocas térmicas entre edificação e meio exterior e ganhos internos, são adotados envolvendo sempre aproximações, devido a grande quantidade de variáveis que influenciam tais fenômenos e que não podem ser consideradas na sua totalidade, sob pena do aumento excessivo da complexidade do modelo, que pode inviabilizar o seu uso. Daí a importância da verificação da aproximação dos dados fornecidos através de simulações com tais programas, comparando-se os resultados com aqueles medidos *in loco*, que representam a realidade (RAUBER et al., 1993).

Somando-se às limitações dos próprios modelos matemáticos, existem outros fatores tais como a obtenção de dados climáticos, a obtenção das medições *in loco* e os dados adotados para simulação da geometria e materiais que compõe a edificação, que influenciam nas diferenças de resultados obtidos com medições e simulações (BARBOSA & LAMBERTS, 2002). Os dados obtidos *in loco* possuem aproximações e erros devido às limitações das medições em si, dos equipamentos adotados e de fatores que influenciam as medições em datas específicas. As condições térmicas da edificação deveriam ser monitoradas durante períodos longos, acima de 10 anos, para maior confiabilidade dos dados medidos. No entanto, não se tem notícia de um monitoramento contínuo de edificações para este fim. Os dados climáticos deveriam ser medidos no local da edificação, mas em geral, são medidos em centros meteorológicos, muitas vezes distantes do local da edificação. Finalmente, a disponibilidade de dados confiáveis das propriedades térmicas dos materiais que compõem a edificação e a representação de sua geometria para fins de simulação podem ser fatores que influenciarão os resultados obtidos através das simulações.

Um dos métodos possíveis de validação dos modelos é a comparação dos resultados dos programas com medições obtidas *in loco*. Este trabalho pretende comparar os resultados de temperatura interna obtidos através de medições *in loco*, com os resultados obtidos através de simulações com o programa THEDES – *Thermal Design* – (SATTTLER, 1986a). Para tal, partiu-se de medições efetuadas *in loco* para o Protótipo de Habitação de Interesse Social, construído no campus da Fundação Ciência e Tecnologia (CIENTEC), no Distrito Industrial de Cachoeirinha, na região metropolitana de Porto Alegre, estado do RS, cujas medições foram realizadas no período de 22 de março a 2 de junho, com valores registrados em intervalos de uma hora, 24 horas por dia.

2. MÉTODO DE PESQUISA

As temperaturas internas do protótipo resultantes de simulação foram fornecidas pelo programa THEDES – *Thermal Design* – (SATTTLER, 1986a), baseado no método de admitância, e os valores reais de temperatura interna foram obtidos por BECKER (1992), através de medições realizadas *in loco*, no período de 22 de março a 2 de junho de 1990. Foram seguidas as seguintes etapas:

- determinação dos dias a serem simulados, conforme dias típicos caracterizados para a região de Porto Alegre (SATTTLER, 1986b);
- levantamento das características construtivas da edificação, para entrada de dados no programa THEDES, com base no levantamento de BECKER (1992);
- obtenção dos valores de temperatura interna horária, para os dias 22 de abril e 24 de maio, através do programa THEDES;
- montagem dos gráficos comparativos entre temperatura externa (medidas *in loco*), temperaturas internas obtidas por BECKER, com medições *in loco*, e temperaturas internas obtidas através da simulação com o programa THEDES;
- discussão dos resultados.

3. MEDIÇÕES IN LOCO E SIMULAÇÕES

O protótipo de habitação caracteriza-se por uma edificação térrea, de aproximadamente $60 m^2$, isolada no lote, com telhado em duas águas, estando as mesmas orientadas no sentido nordeste e sudoeste aproximadamente. É composto por cinco ambientes: 2 dormitórios, banheiro, sala e cozinha. As aberturas (portas e janelas) estão orientadas na direção nordeste-sudoeste.

O sistema construtivo compõe-se de paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos maciços, rebocadas com argamassa de cimento e areia nas faces internas e externas, com exceção da parede frontal, em alvenaria de tijolos cerâmicos à vista. As paredes rebocadas recebem pintura numa cor clara. As paredes externas possuem $25 cm$ de espessura e as internas, $15 cm$. O piso é composto por uma camada de $5 cm$ de brita, $5 cm$ de contrapiso em argamassa e acabamento em tacos de madeira (espessura de $2 cm$), para áreas secas, e cerâmica (espessura $1 cm$), para áreas úmidas. As janelas são em metal (ferro), tipo basculante na cozinha e banheiro, e de correr, nos demais cômodos. As janelas não possuem elementos de proteção solar. As portas internas e externas são em madeira. A estrutura da cobertura é em madeira, com telhas de fibrocimento com espessura de $6 mm$ e com forro, em madeira tipo lambri, com espessura de $5 mm$. Abaixo, na Fig 1 e Fig. 2, são mostrados a planta baixa da unidade e o corte longitudinal.

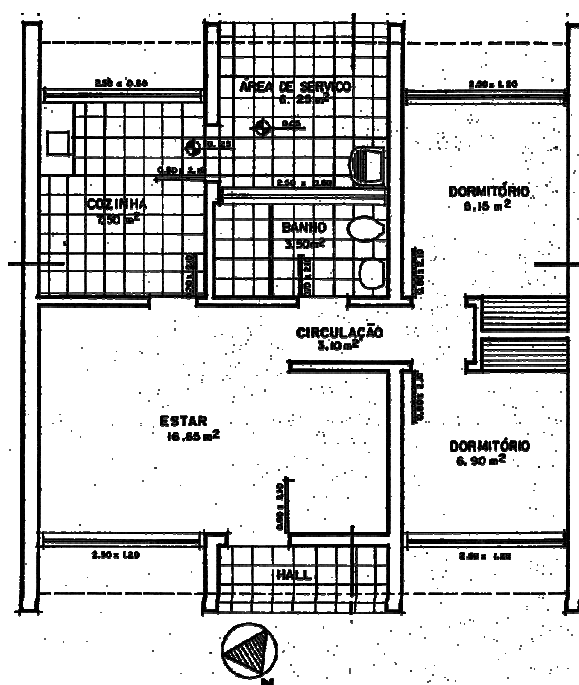


Figura 1 - Planta baixa do protótipo habitacional (Fonte: Becker, 1992, p.17).

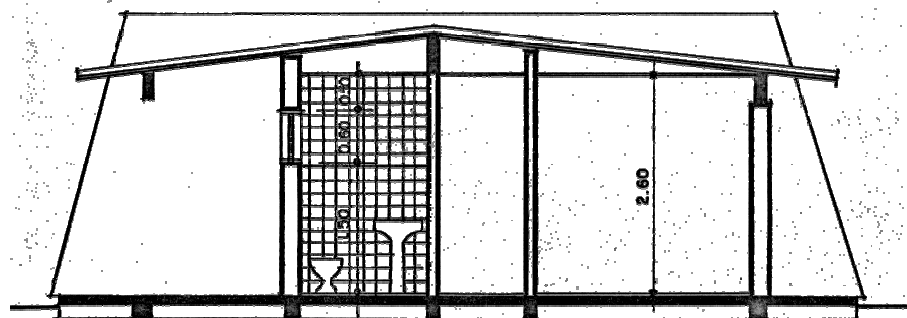


Figura 2 – Corte transversal do protótipo habitacional (Fonte: Becker, 1992, p.18).

3.1 O clima

O clima de Porto Alegre e das cidades vizinhas é classificado como subtropical, com temperaturas médias abaixo dos $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a amplitude anual variando entre 9 e $13\text{ }^{\circ}\text{C}$. O índice pluviométrico varia entre 1.500 mm /ano e 2.000 mm /ano , com chuvas bem distribuídas no decorrer do ano. Devido a grande variação climática a que a região é exposta, torna-se necessário o uso de diferentes estratégias para a obtenção de conforto térmico ao longo do ano nas edificações. O percentual anual de horas de conforto térmico na cidade é de $22,4\%$. As horas de desconforto ($77,5\%$) provocadas pelo calor correspondem a $25,9\%$ e, pelo frio, a $51,6\%$, considerando as temperaturas limites para zona de conforto entre 18 a $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ (LAMBERTS et al., 1997).

3.2 Datas simuladas

Para a escolha das datas a serem simuladas, consideraram-se as temperaturas externas médias obtidas nas medições efetuadas por BECKER (1992), para os 16 dias nos quais foram realizadas medições. Tomaram-se as médias que mais se aproximavam das médias de temperatura dos dias típicos, determinados por SATTLER (1986b), para a região de Porto Alegre. A temperatura média dos 16 dias corresponde ao nível estatístico de 10% . Para o verão (temperatura média de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$), existem cerca de 25 dias, no período de dias quentes, mais quentes que o dia simulado e, para o inverno (temperatura média de $11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), existem 19 dias mais frios do que o dia simulado. A simulação das condições térmicas do protótipo foi obtida através do programa THEDES (SATTLER, 1986a). Os dados climáticos adotados, para simulação com o programa, foram resultantes de medições realizadas nos dias simulados pelo Aeroporto Internacional Salgado Filho e 8° Distrito Meteorológico, ambos em Porto Alegre.

3.3 O programa THEDES

O programa THEDES exige dois arquivos básicos de dados que consideram as características climáticas do local da edificação e dados da própria edificação. A partir destes dados, o programa fornece um conjunto de informações e gráficos que caracterizam o desempenho térmico da edificação, através da irradiação solar incidente, da temperatura sol-ar, das propriedades térmicas dos componentes, do sombreamento, da orientação solar e da atividade desenvolvida pelo usuário e seu vestuário. Os dados de entrada exigidos pelo programa são:

- localização da edificação – cidade (Porto Alegre), longitude ($51\text{ }^{\circ}13'$), latitude ($-30\text{ }^{\circ}02'$);
- albedo – refletividade do solo no entorno da edificação, adotada nesta avaliação como $0,5$ (corresponde à área constituída de vegetação arbórea média);
- dia típico de inverno e/ou verão para o qual se deseja efetuar a simulação – nesta avaliação foram adotados os dias 22 de abril e 24 de maio, correspondendo ao nível 10% para verão e inverno respectivamente (ver SATTLER, 1986b);
- dados climáticos – indicam as condições ambientais para os dias típicos considerados: temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar global horizontal, velocidade do vento e dados específicos, como a taxa de ventilação e vestimenta e atividade do usuário;
- características dos componentes internos da edificação (paredes, pisos e forro) – área, espessura, número de camadas e tipo de material;
- características dos componentes externos da edificação (paredes, cobertura, portas e janelas) – área, espessura, número de camadas, tipo de material e absorvidade;
- dados de sombreamento das paredes, devido à projeção dos beirais, de algumas paredes externas que se projetam além das fachadas e vegetação circunvizinha que projeta sombra sobre a edificação.

Não foram considerados, nesta avaliação, os ganhos internos de calor (pessoas, equipamentos, iluminação artificial, etc.). Isto representaria um acréscimo na temperatura interna da edificação, prejudicando o desempenho no verão e favorecendo-o no inverno. Os dados climáticos utilizados

foram os dados apresentados por BECKER (1992), obtidos no 8º Distrito Meteorológico de Porto Alegre e Aeroporto Salgado Filho, distantes aproximadamente 3,5 e 5,5 km do protótipo simulado, respectivamente, e cujas medições foram simultâneas às medições efetuadas na edificação. Considerou-se uma taxa de ventilação de 4 renovações/hora. A partir dos dados de entrada listados acima, o programa fornece os seguintes dados de saída:

- propriedades térmicas dos componentes internos e externos – transmitância térmica (W/m^2), atraso térmico (h), entre outros;
- irradiância horária (W/m^2) sobre cada um dos componentes externos da edificação;
- gráfico da zona de conforto para verão e inverno;
- ganhos de calor (W) através dos componentes externos da edificação (paredes, cobertura, aberturas e piso) e ventilação;
- temperatura sol-ar ($^{\circ}C$) e temperaturas horárias internas e externas à edificação ($^{\circ}C$).

BECKER (1992) levantou as seguintes variáveis térmicas para o protótipo Aglotec: temperatura do ar, temperatura radiante média e temperatura superficial interna. Estas temperaturas foram medidas para os dois dormitórios, estar e cozinha, a uma altura de 1,5 m do piso. Os instrumentos usados foram termômetros de resistência ($Pt 100$), conectados um sistema eletrônico de medida, com registro dos dados através de *data logger* (*ECI*, modelo *DL 4000*). Este equipamento é um sistema automático de aquisição de dados para medidas analógicas, fazendo leituras a intervalos de tempo determinados pelo operador, permitindo a leitura praticamente simultânea de todos os sensores. Obtiveram-se registros contínuos para 24 horas, tomados hora a hora, para o período de 22 de março a 2 de junho de 1990. As temperaturas externas foram obtidas através de um termômetro instalado na parte externa da edificação, no lado sudoeste.

4. RESULTADOS

A *Tab. 1* mostra os dados medidos *in loco* e obtidos por simulação com o programa THEDES para as duas datas estudadas. Os valores $T12$, $T24$ e $T30$ foram medidos na sala de estar, dormitório 2 e dormitório 1 respectivamente. A temperatura interna média do ar foi considerada como sendo a média das três temperaturas anteriores ($T12$, $T24$ e $T30$). Para o dia 22/04, para os horários em que não são apresentadas medições, não houve registro de dados. Os valores médios foram obtidos por interpolação. A última coluna da *Tab. 1* representa os valores obtidos através de simulação com o programa THEDES.

Tabela 1 - Temperatura do ar externa e internas medidas *in loco* para os dias 22/04 e 24/05.

horário	Temperaturas ($^{\circ}C$)					
	externa	T12 - 22/04	T24 - 22/04	T30 - 22/04	do ar média interna - 22/04	simulada - 22/04
2	21	22,9	23,3	22,9	22,3	24,6
3	20	22,8	23,1	22,8	21,9	25,0
7	19	22,6	22,9	22,6	21,4	24,8
8	22	22,2	23,2	22,2	22,1	24,4
9	25	23,0	24,5	22,6	23,5	25,9
13	31	24,4	25,5	23,8	26,4	29,3
14	32	26,6	27,0	26,1	28,2	29,7
15	32	26,8	27,2	26,4	28,4	30,2
19	27	26,1	26,4	25,9	26,3	28,5
20	26	25,7	25,9	25,5	25,7	27,3
21	25	25,5	25,7	25,3	25,3	26,8
horário	externa	T12 - 24/05	T24 - 24/05	T30 - 24/05	do ar média interna - 24/05	simulada - 24/05
1	5	13,9	14	13,7	13,9	11,0
2	4	13,5	13,7	13,5	13,6	10,3
3	4	13,3	13,5	13,2	13,3	9,9

Tabela 1 – Continuação.

horário	externa	T12 - 24/05	T24 - 24/05	T30 - 24/05	do ar média interna - 24/05	simulada - 24/05
4	4	13,0	13,2	13,0	13,1	10,1
5	3	12,7	13,0	12,7	12,8	10,2
6	3	12,3	12,8	12,6	12,6	9,9
7	8	12,2	12,5	12,4	12,4	10,0
8	8	12,3	13,1	12,3	12,6	11,8
9	10	13,8	15,1	12,7	13,9	12,1
10	12	15,3	16,3	13,6	15,1	13,0
11	16	16,5	17,2	14,9	16,2	13,9
12	18	17,4	17,8	16,1	17,1	15,4
13	20	18,0	18,3	16,8	17,7	16,2
14	22	18,3	18,6	17,3	18,1	16,8
15	23	18,9	19,1	17,7	18,6	17,3
16	24	18,9	18,9	17,8	18,5	17,7
17	22	18,2	18,1	17,4	17,9	18,8
18	16	17,5	17,4	16,8	17,2	17,5
19	12	17,1	16,9	16,4	16,8	15,0
20	12	16,7	16,5	16,1	16,4	13,5
21	10	16,3	16,3	15,8	16,1	13,2
22	9	16,1	16,0	15,6	15,9	12,5
23	8	15,7	15,8	15,4	15,6	12,0
24	7	14,1	14,2	13,8	14,0	11,4

As Fig. 3 e 4, a seguir, representam as temperaturas externas (medidas *in loco*), as temperaturas internas medidas por BECKER e temperaturas simuladas com o programa THEDES, para os dois dias considerados (22 de abril e 24 de maio).

Temperaturas: externa, interna Becker e interna Thedes - 22/04

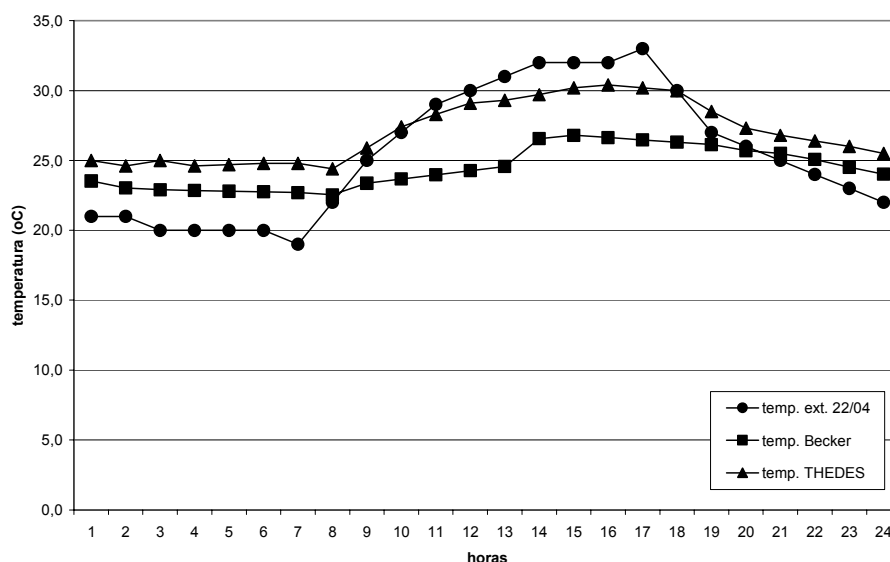


Figura 3 - Temperaturas externas e internas para o dia 22 de abril (nível 10%).

A Fig. 3 mostra a temperatura interna e externa, medidas *in loco*, e a temperatura interna simulada com o programa THEDES, para 22 de abril. Observa-se que as variações das temperaturas internas medidas e simuladas foram menores do que as variações das temperaturas externas medidas, sendo que as curvas de temperaturas internas medidas e simuladas apresentam uma forma aproximada. No entanto, as temperaturas internas obtidas com a simulação foram maiores do que aquelas verificadas *in loco*, para todos os horários simulados.

Considerando as temperaturas medidas *in loco*, a temperatura interna não atinge os $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, considerada temperatura máxima de conforto (LAMBERTS et al., 1997). No entanto, através da simulação com o programa THEDES, observa-se que entre as 15 e 19 horas, aproximadamente, há temperaturas superiores àquele valor, o que levaria a uma avaliação negativa da edificação, para os dias simulados, considerando-se os dados obtidos com o programa. Para as temperaturas obtidas *in loco*, todos os horários apresentam valores inferiores ao limite superior de conforto, com pequena variação no decorrer do dia, verificando-se, através das medições, um bom desempenho térmico, para temperaturas internas, do protótipo, para a data simulada. Existe uma diferença aproximada de temperatura, entre as medições *in loco* e as simulações, de 4 a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, como pode ser observado na Fig. 3, para alguns horários do dia (entre 11 a 18 horas). Este valor é bastante alto, que comprometeria a avaliação do desempenho da edificação, considerando-se apenas os resultados obtidos com a simulação. De modo geral, a avaliação da temperatura interna da edificação, para a data estudada, a partir do programa, seria menos favorável ao desempenho térmico do que a avaliação feita a partir de medições *in loco*.

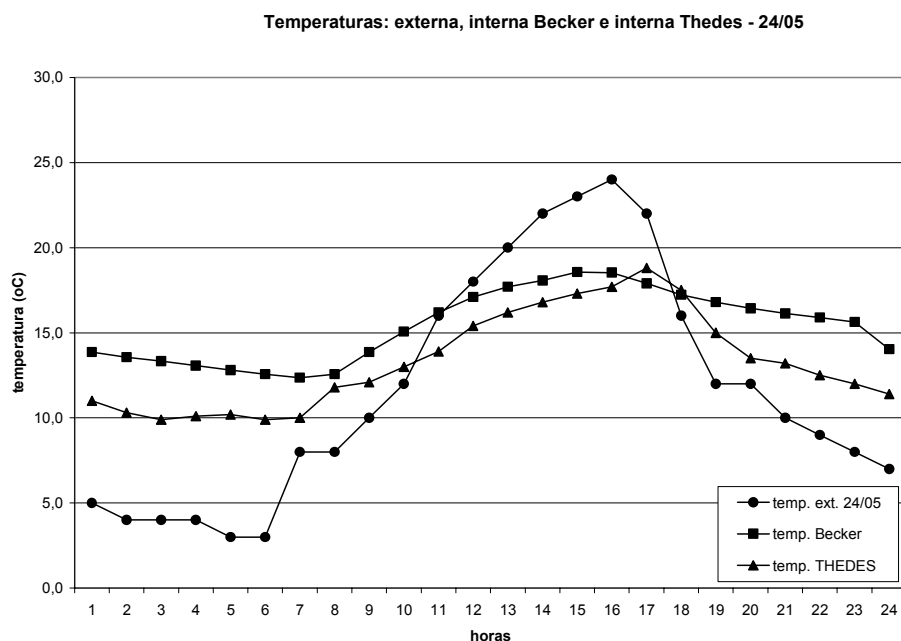


Figura 4 - Temperaturas externas e internas para o dia 24 de maio (nível 10%).

A Fig. 4 mostra a temperatura interna e externa, medidas *in loco*, e a temperatura interna obtida com o programa THEDES, para a data de 24 de maio. Observa-se que as variações das temperaturas internas medidas e simuladas foram menores do que as variações das temperaturas externas medidas, sendo que as curvas de temperaturas internas medidas e simuladas apresentam uma forma aproximada. No entanto, as temperaturas internas obtidas com a simulação foram menores do que aquelas verificadas *in loco*, para praticamente todos os horários do dia, com exceção de um pequeno período em torno das 17 horas e 30 minutos, mostrando o efeito de atenuação determinado pelo envelope da edificação. Para esta data, as temperaturas internas são inferiores a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, considerada temperatura mínima de conforto, praticamente no decorrer de todo o dia. A avaliação realizada tanto com as temperaturas medidas *in loco*, quanto com as simuladas, levam a uma mesma avaliação qualitativa: temperaturas inferiores ao limite de conforto de inverno durante todo o dia. No entanto, as temperaturas internas obtidas com o programa THEDES são inferiores às temperaturas medidas *in loco*, comprometendo a avaliação da edificação através do programa. Para a situação, inverno, também existe uma diferença de temperatura, entre as medições *in loco* e as simulações, porém inferior a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, como pode ser observado na Fig. 4, para alguns horários do dia (entre 20 a 7 horas, aproximadamente). Os resultados da simulação apontam para um desempenho inferior às medições obtidas (em torno de 3 a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) para o período da noite.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que, em geral, as simulações apresentaram temperaturas mais desfavoráveis do que as medidas *in loco*, tanto para 22 de abril, quanto para 24 de maio. Como foi dito na introdução deste trabalho, diferentes fatores podem influenciar tanto as simulações quanto as medições *in loco*, causando diferentes resultados. Houve uma diferença significativa entre as temperaturas simuladas e as medidas, em torno de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, indicando que a simulação tenderá a apontar um desempenho bem mais desfavorável para esta edificação do que as medições. As curvas para ambos os dias avaliados apresentaram formas semelhantes, com horários de máxima e mínima temperaturas praticamente iguais. Isto revela que o programa reproduz as variações reais ocorridas no interior da edificação para as datas estudadas, embora não reproduza os valores de temperatura medidos *in loco*.

Este estudo mostra as limitações envolvidas com simulações, uma vez que as condições reais são difíceis de serem representadas através de modelos matemáticos. As trocas térmicas entre a edificação e o meio exterior, dependem, entre outros fatores, das características de seu fechamento (envelope externo), do sítio de implantação, da geometria volumétrica da edificação e das condições climáticas. As simulações não permitem caracterizar com precisão estes fatores, uma vez que os dados de entrada são limitados a um conjunto de variáveis que refletem parcialmente as condições reais. No caso do programa THEDES, os dados referentes aos materiais que compõe o fechamento da edificação foram tomados a partir de seu banco de dados e podem não representar as especificidades dos materiais reais usados, pois são baseados em médias obtidas para materiais similares. O ideal seria fazer avaliação do comportamento térmico dos materiais usados na construção da edificação, usando-se, na simulação, valores mais próximos da realidade. Em relação ao sítio de implantação, o programa THEDES admite a entrada do valor de refletividade do solo, que é um valor médio, envolvendo mais uma aproximação, uma vez que os terrenos de implantação, em geral, apresentam certa variedade de revestimento de solo. Quanto à geometria volumétrica da edificação, que envolve não somente o volume externo, mas a distribuição de cômodos no seu interior, e que influenciam de forma significativa as trocas térmicas entre edificação e meio exterior, não são possíveis de serem simuladas em sua plenitude pelo programa THEDES. O programa permite simulação de volumes simples (paralelepípedos), sem considerar a geometria interna dos componentes e sua distribuição, apenas sua caracterização em termos de camadas, materiais e áreas. A geometria interna dos componentes irá influenciar a distribuição de temperaturas internas da edificação, e o que se consegue simular são temperaturas médias, que podem não refletir a média real resultante da configuração interna de temperaturas. Em relação às condições climáticas, o programa THEDES permite a simulação de dias típicos climáticos, os quais baseiam-se em levantamento de dados climáticos obtidos em centros meteorológicos e que são baseados em níveis de frequência de ocorrência. Uma possibilidade é a entrada de dados climáticos obtidos paralelamente às medições. Porém, a pesquisa na qual se baseou este estudo não possuía todas as informações necessárias para a composição do arquivo climático exigido pelo programa. Embora os valores de variáveis climáticas do dia típico sejam representativos e tenham sido considerados valores o mais próximos possível, não são iguais às condições climáticas reais enfrentadas pela edificação durante as medições. Além desses fatores, o próprio modelo matemático trará aproximações, tais como a caracterização do período imediatamente anterior ao dia da simulação. Ou seja, o comportamento da edificação não é afetado apenas pelas condições climáticas localizadas em um dia, mas é a resposta das condições climáticas que vêm se desenvolvendo nos dias anteriores. O programa simula condições imediatamente anteriores iguais ao dia da simulação. Isso pode não ter ocorrido na prática, uma vez que as condições climáticas podem alterar-se de forma significativa de um dia para outro na região onde se localiza o protótipo simulado.

Quanto às medições *in loco*, fatores que podem conferir incerteza aos resultados, estão relacionados, entre outros: a incertezas relativas aos instrumentos utilizados na medição e ao levantamento de dados propriamente dito, aos pontos onde foram localizados sensores para medição, ao período em que foram efetuadas as medições e a fatores momentâneos (tais como ventilação localizada e nuvens encobrendo o céu, diminuindo a insolação direta). Os instrumentos de medição envolvem incertezas tais como sua calibração, a correspondência entre a propriedade térmica relativa ao sensor e a variável sendo medida, sua estabilidade na aquisição de dados, entre outros. Essas incertezas podem ser reduzidas até um certo limite, porém sempre haverá aproximações inerentes ao método experimental.

Estas incertezas podem ir de encontro às simulações, aumentando as diferenças entre um e outro. O levantamento de dados, na pesquisa que serviu a este estudo, foi feito através de forma automática com o uso de *data logger*, o que elimina erros decorrentes de leituras humanas. No entanto, sempre há incertezas envolvendo a aquisição de dados através do uso destes sistemas, relativos à própria leitura do equipamento, seu tempo de resposta, etc. Novamente estas incertezas podem afetar de forma negativa a comparação com as simulações. Quanto aos pontos de medição, a limitação no número de sensores e à quantidade de dados coletados, cujo número excessivo implicaria uma dificuldade no registro, no monitoramento e na análise de dados, limita o levantamento das condições ambientais internas da edificação a um conjunto menor de dados. Isto faz com que as medições não demonstrem em sua totalidade as condições ambientais reais. Além disso, o uso de um número limitado de sensores implicará na escolha de pontos específicos de medição, ou seja, sua posição espacial. Essa posição é escolhida de tal maneira a permitir o correto funcionamento dos sensores e a representar as condições desejáveis no interior da edificação. A simulação envolve médias gerais horárias e pode não ser compatível com as medições localizadas. O controle da medição também é limitado e muitos dados podem ser perdidos, como ocorreu neste caso específico (ver *Tab. 1*). Outro aspecto importante diz respeito ao período em que foram efetuadas as medições. Como já referido anteriormente, como as medições são efetuadas em um período de tempo limitado, as mesmas representarão o comportamento da edificação apenas naquele período. Para uma avaliação mais completa do programa através de comparação com medições *in loco* é necessário um conjunto mais consistente de medições, com um maior número de sensores distribuídos no ambiente interno (para obter-se médias mais representativas), distribuídas nas diferentes épocas do ano, no decorrer de períodos mais longos, e para diferentes tipologias, que possam ser simuladas através do programa, a fim de se poder verificar a compatibilidade do modelo com a realidade. Isso evitaria também diferenças relativas a fatores momentâneos que podem ter influenciado as medições, como apontado anteriormente. Finalmente, também seria necessário comparar os outros dados fornecidos pelo programa com medições *in loco*, para uma análise mais completa do mesmo.

As ferramentas de simulação são importantes, principalmente na fase de concepção do projeto da edificação. Porém são limitadas conforme visto, e um acompanhamento *in loco* do desempenho da edificação, bem como a consideração da opinião dos usuários, são necessários para uma completa avaliação das condições de conforto no interior da edificação e para o aprimoramento dos programas disponíveis para simulação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, Miriam J.; LAMBERTS, Roberto. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina – PR. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 15-28, jan./mar. 2002.
- BECKER, M. F. M. *Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea*. 1992. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- LAMBERTS, Roberto; et al. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997. 192p.:il.
- RAUBER, D. L. et al. Comparação de softwares de análise térmica de edificações: resultados para um projeto padrão e interface programa-usuário. In: *Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído*, 2. , 1993, Florianópolis. Anais ... Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1993. p.107-114.
- SATTLER, Miguel A. *A computer program for the thermal design of unconditioned buildings*. Sheffield: University of Sheffield, 1986a.
- SATTLER, Miguel A. *The generation of climatic building design data from meteorological data, with particular reference to Porto Alegre (30°02'S;51°13'W), Brazil*. Sheffield: University of Sheffield, 1986b.