



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

PROGRAMA MODULAR PARA APLICAÇÕES DIDÁTICAS E PROFISSIONAIS NA ÁREA DE CONFORTO TÉRMICO

João Roberto Gomes de Faria
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação/UNESP
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n
17069-360 - Bauru - SP

Resumo - Este artigo apresenta o ConfTerm, um programa para microcomputadores compatíveis com a linha IBM-PC/XT/AT, para aplicações na área de conforto térmico, o. Ele possibilita estimar a temperatura horária do ar no interior de um ambiente, dadas as condições climáticas externas e as características construtivas do ambiente, e fornece indicações sobre estratégias de projeto a serem adotadas para melhorar o desempenho térmico da edificação. O ConfTerm é fornecido em forma de programa-fonte, facilitando seu uso didático.

Abstract - ConfTerm, a IBM-PC/XT/AT-compatible microcomputer program for thermal comfort applications is presented in this paper. The hourly indoor air temperature estimative can be calculated, using the outdoor climatic parameters and the ambiental constructive characteristics, besides, it also gives indications for improve the building thermal performance. ConfTerm is presented in source language, for making easy its didactic application.

modela em; conforto térmico, simulação de temperatura; transmissão de calor

INTRODUÇÃO

Devido à complexidade envolvida na resolução da equação de difusão de calor, a literatura básica empregada normalmente em cursos de graduação apresenta métodos simplificados e temporalmente pontuais para o tratamento da transmissão de calor em regime transitório (COSTA, 1982, MASCARÓ, 1985, FROTA & SCHIFFER, 1989). Com o avanço da microinformática; a dificuldade de cálculo foi superada, e muitos programas têm sido desenvolvidos já há algum tempo (DEGELMAN & ANDRADE, 1986, LECHNER, 1990). Esses programas, elaborados para finalidades de pesquisa ou para aplicações profissionais, buscam a maior precisão de resultados e a otimização de recursos computacionais; para tanto, empregam formulações e algoritmos complexos, muito além do escopo do conteúdo programático de disciplinas de cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo brasileiros.

Dessa forma, tornou-se relevante o desenvolvimento um programa que pudesse ser empregado, em primeiro lugar, para aplicações didáticas, mas que também servisse de ferramenta para auxílio na elaboração e estimativa de desempenho térmico em projetos de edificações.

OBJETIVOS

Considerando a aplicação didática, o programa deveria levar em conta o nível de aprofundamento de um curso de Conforto Térmico para um curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo; por outro lado, pensando na possibilidade de aplicação profissional, o programa deveria apresentar resultados precisos e auxílio à atividade de projeto, fornecendo indicações sobre estratégias para melhorar o desempenho térmico da edificação em questão; além disso, deveria contar com uma interface amigável, de modo a incentivar sua utilização.

As preocupações acima expostas podem ser traduzidas pelas seguintes premissas de trabalho:

- Empregar modelos relativamente simples, de fácil compreensão para alunos de graduação, porém preciso, mesmo que às custas de uma perda de eficiência computacional;
- Ser transparente ao usuário, possibilitando-lhe a compreensão do funcionamento do modelo;
- Proporcionar um ambiente amigável para o usuário, evitando o laconismo das interfaces dos programas científicos;
- Dispor de índices que possibilitem a avaliação do desempenho térmico do projeto em questão e indiquem formas de correção.

DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Para atingir os objetivos acima propostos, o ConfTerm trabalha com os seguintes elementos:

- Interface amigável ao usuário, através de uma estrutura de menus;
- Emprego da linguagem Microsoft QuickBASIC, cuja versão simplificada do interpretador é fornecida com o sistema operacional MS-DOS a partir da versão 5.0; dessa forma, o programa, fornecido como arquivos-fonte, pode ser estudado, alterado conforme as necessidades, e executado em qualquer microcomputador que disponha daquele sistema operacional, sem necessidade de dispor de compiladores. O arquivo-fonte relativo ao programa de transmissão de calor é amplamente comentado, possibilitando a compreensão do funcionamento do algoritmo. A programação foi feita de forma estruturada, resultando num programa "limpo", facilmente conversível para outras linguagens computacionais mais eficientes.

O ponto de partida para a elaboração do ConfTerm foi a estrutura do programa NBLSD (National Bureau of Standards Load Determination) (AKUTSU, 1983), de uso bastante difundido no Brasil na década de 1980; assim, infelizmente ele apresenta a maior parte de suas limitações, como as hipóteses dos fluxos térmicos unidimensionais, da temperatura interior uniformemente distribuída e do sombreamento de vedações constante durante o período. No entanto, ao contrário do NBLSD, o ConfTerm considera os efeitos de absorção da radiação solar na temperatura de vidros em aberturas e utiliza pouca memória, o que o viabiliza para uso em microcomputadores mesmo sem memória expandida ou estendida.

Do ponto-de-vista do usuário, o programa consta, em sua versão atual, de três módulos:

- Gerenciamento de arquivos: criação e manipulação de arquivos de dados diversos para uso no projeto ou na fase de simulação;
- Simulação do comportamento higrotérmico: estimativa de temperatura e umidade relativa do ar no interior da edificação, em função de suas características construtivas e das condições climáticas externas;
- Apresentação de resultados: impressão de arquivo alfanumérico ou apresentação (também com possibilidade de impressão) dos dados estimados sob forma gráfica, com possibilidade de avaliação do conforto térmico e indicações de correções no projeto através dos diagramas bioclimáticos de Givoni e de Olgyay. A escolha desses diagramas decorreu da sua grande divulgação e pela simplicidade de uso, além de apontarem soluções arquitetônicas para corrigir os desvios higrotérmicos das condições de conforto.

A operação do programa é feita na medida do possível através de menus. Cada módulo é selecionado através de um menu de barra, e as operações dentro de cada módulo são selecionadas através de menus em janelas. A cada opção selecionada, é mostrada na base do vídeo uma linha de ajuda. Quando a operação não é executada via menu, a linha de ajuda fornece explicações sobre os dados solicitados ou sobre os procedimentos para a continuidade da operação. Um dos fatores de agilidade do programa é sua estrutura de consulta a bancos de dados via menus de características da maioria dos parâmetros de entrada do programa. Esse banco de dados pode ser expandido e atualizado, em função das necessidades do usuário. O programa conta atualmente com dados de características térmicas de materiais (condutividade térmica, calor específico, densidade, coeficiente de transmissão para radiação de ondas curtas), acabamentos superficiais (emissividade e absorvância), entornos (albedo e emissividade) e localidades (coeficientes da equação de Angstrom para cálculo de radiação solar incidente), coletados de diversas referências (COSTA, 1982, FROTA & SHIFFER, 1989, MASCARÓ, 1985, OKE, 1987).

Do ponto-de-vista de programação, o programa contém mais um módulo, composto por rotinas de uso geral, cuja finalidade é tornar o programa mais amigável ao usuário. Essas rotinas permitiram a criação de menus, a edição de variáveis de entrada e a previsão e correção de erros durante a execução do programa, entre outras utilidades.

O módulo de simulação, coração do programa, é composto pelas seguintes rotinas principais:

1. Estimativa da radiação solar incidente: elaborada a partir da formulação exposta por SATTTLER (1987);
2. Cálculo da transmissão de calor unidimensional: empregou-se formulação diversa para o cálculo da transmissão superficial (AKUTSU, 1983, INCROPERA & DeWITT, 1985, SATTTLER, 1987); para a condução em regime transitório, foi empregado o algoritmo de DuFort-Frankel para o método explícito das diferenças finitas (ARPACI, 1966, CARNAHAN *et al.*, 1969, INCROPERA & DeWITT, 1985, ROSENOW & HARTNETT, 1973). Para o uso deste método, os materiais que compõem a secção transversal da vedação é dividida em pontos igualmente espaçados (nós); as temperaturas são então calculadas através da resolução sucessiva do balanço térmico em regime transitório dessa seqüência de pontos em intervalos de tempo em *loops* iterativos durante o período considerado, até a convergência dos resultados. O método de DuFort-Frankel melhora a estabilidade do método, permitindo que se trabalhe com maiores intervalos de tempo dentro do período para apressar a convergência. Este método, embora não seja o mais eficaz (CARTER, 1990), oferece grande facilidade e flexibilidade de programação, e exige pouca memória;
3. Cálculo da umidade relativa do ar no interior: emprega um modelo bastante simplificado, com as seguintes hipóteses:
 - a pressão de vapor d'água seja a mesma no exterior e no interior do ambiente;
 - a pressão de vapor se mantém constante ao longo do dia;
 - a umidade relativa média do ar ocorre no momento correspondente à temperatura média do ar.

AVALIAÇÃO DO PROGRAMA

O ConfTerm emprega modelos não-paramétricos (p. ex. a equação de difusão de calor) ou paramétricos já calibrados na bibliografia de referência (p. ex. a equação de Angstrom para o cálculo da radiação solar). Dessa forma, não houve calibração de parâmetros do modelo, somente avaliação de desempenho através de comparação de resultados com dados coletados.

Para a avaliação dos resultados produzidos pelo ConfTerm, empregou-se dados levantados por FERREIRA (1991), relativos ao estudo de isolamento térmico proporcionado por coberturas leves em protótipos de edificações na cidade de São Carlos-SP. Tais protótipos eram compostos por 5 tipos de vedação: cobertura, paredes, porta, janela e piso, cada qual constituído por um único material.

A avaliação consistiu na análise do erro resultante da comparação de dados medidos e calculados de temperatura interna horária do ar. Como os dados climáticos foram levantados na estação climatológica da represa do Lobo, à 15 km dos protótipos e em condições diversas de umidade do ar, considerou-se prejudicada a avaliação do método de cálculo de umidade relativa do ar no interior.

Para a geração de dados calculados de temperatura do ar interna, procedeu-se à execução do programa com os dados do protótipo em um microcomputador com processador 80386, co-processador aritmético e clock de 25 MHz, sob condições distintas, a saber:

- Uma divisão (2 nós superficiais) por material componente de cada vedação e incrementos de tempo de 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 segundos para a resolução do algoritmo de DuFort-Frankel;
- Incremento de tempo de 60 segundos e 2, 3 e 4 divisões por material componente de cada vedação.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os gráficos apresentados nas figuras 1 e 2 permitem avaliar visualmente a relação entre as temperaturas internas horárias do ar medidas e calculadas pelo ConfTerm. Observa-se uma tendência do programa de suavizar a progressão das temperaturas calculadas, característico do método das diferenças finitas, acentuado por uma rotina destinada a melhorar a convergência dos resultados. Essa suavização causa um aumento no erro relativo horário $(T_{\text{calculado}}/T_{\text{medido}} - 1) \cdot 100$ nas em situações onde a temperatura medida apresenta desvios bruscos (entre 5 e 8 horas da manhã), o qual salta de valores da ordem de 5% para extremos próximos a 15%, conforme mostrado nas Figuras 3 e 4.

O número de divisões por material e os incrementos de tempo têm pouca influência no erro relativo médio diário (média dos erros relativos horários no período), conforme figuras 5 e 6, mas grande influência no tempo de processamento, como mostrado nos gráficos das figuras 7 e 8. Assim, para os dados utilizados, pode-se empregar apenas uma divisão por material e o maior incremento de tempo possível (no caso, 480 segundos; para incrementos maiores, não há convergência de resultados), onde consegue-se o menor tempo de processamento às custas de um incremento de erro relativo médio diário desprezível (menor que 0,5%) para a escala de trabalho arquitetônico comum.

Portanto, pode-se dizer que, apesar da perda de eficiência computacional que o processo de cálculo e a linguagem de programação adotados para melhorar a aplicação didática impõem ao programa, ConfTerm é preciso e rápido o suficiente para ser empregado profissionalmente. Cabe lembrar ainda que sua velocidade pode ser aumentada (com prejuízo de sua transparência) através da compilação do programa, quer na própria linguagem em que se encontra atualmente, quer em uma linguagem mais ágil, como o Pascal ou o C.

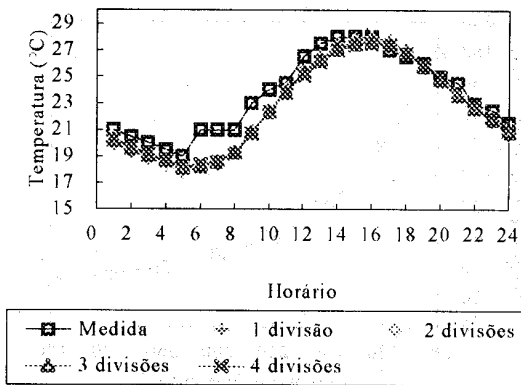


Figura 1. Temperaturas horárias internas do ar medidas e calculadas. Incremento de tempo: 60s; divisões por material: 1 a 4.

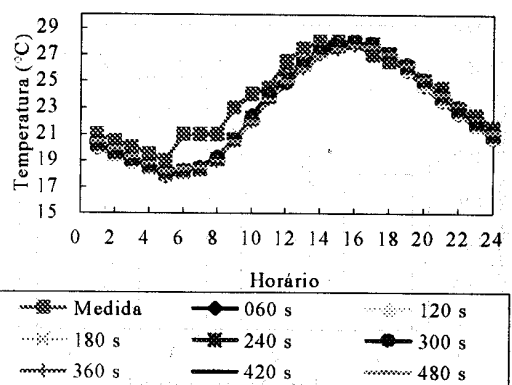


Figura 2. Temperaturas horárias internas do ar medidas e calculadas. Incremento de tempo: 1 a 480s; divisões por material: 1.

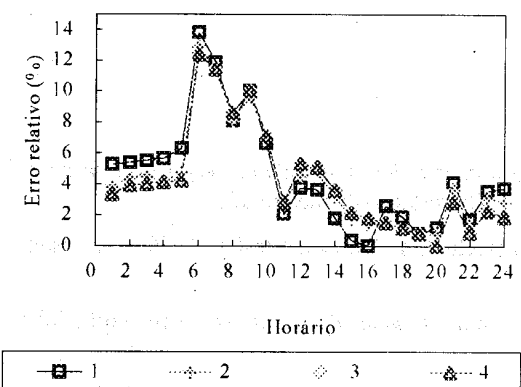


Figura 3. Erro relativo horário entre as temperaturas calculadas e medidas. Incremento de tempo: 60s; divisões por material: 1 a 4.

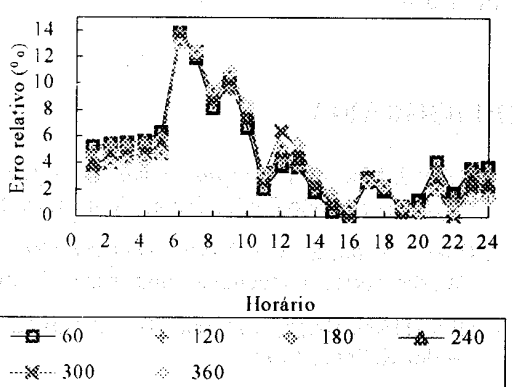


Figura 4. Erro relativo horário entre as temperaturas calculadas e medidas. Incremento de tempo: 1 a 480s; divisões por material: 1.

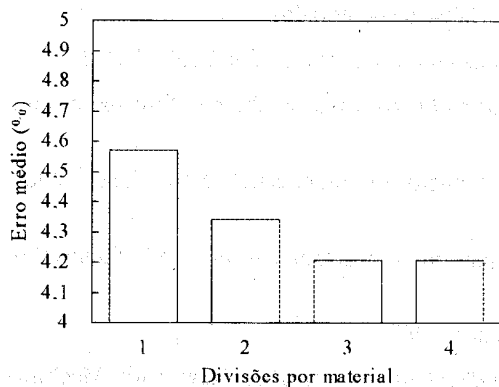


Figura 5. Erro médio diário das temperaturas horárias do ar em relação às temperaturas medidas. Incremento de tempo: 60s; divisões por material: 1 a 4.

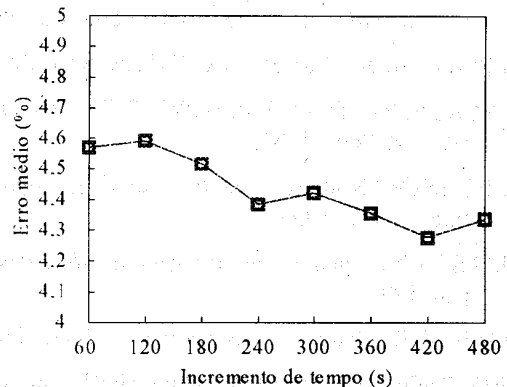


Figura 6. Erro médio diário das temperaturas horárias do ar em relação às temperaturas medidas. Incremento de tempo: 1 a 480s; divisões por material: 1.

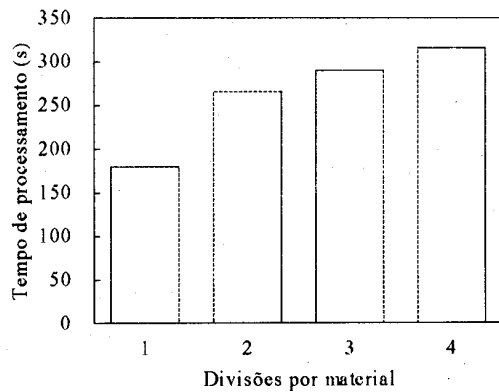


Figura 7. Tempo de processamento. Incremento de tempo: 60s; divisões por material: 1 a 4.

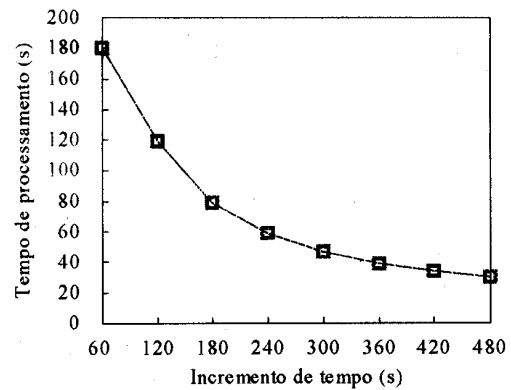


Figura 8. Tempo de processamento. Incremento de tempo: 60 a 480s; divisões por material: 1.

BIBLIOGRAFIA

1. AKUTSU, Maria. *Aplicação do método de fatores de resposta para a determinação da resposta térmica de edificações*. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1983. (Dissertação de mestrado).
2. ARPACI, Vedat S. *Conduction heat transfer*. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1966. (Addison-Wesley series in mechanics and thermodynamics).
3. CARNAHAN, Brice; LUTHER, H. A.; WILKES, James O. *Applied numerical methods*. New York, John Wiley & Sons, 1969.
4. CARTER, Cyril. Computational methods for passive solar simulation. *Solar Energy*, 45(6): 379-384, 1990.
5. COSTA, Ennio Cruz da. *Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural*. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.
6. DEGELMAN, Larry O. & ANDRADE, Guilherme. *A bibliography of available computer programs in the area of heating, air conditioning and refrigeration*. Atlanta, ASHRAE, 1986.
7. FERREIRA, Osny Pellegrino. *Cobertura em argamassa armada: uma alternativa para habitações de interesse social*. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1991. (Tese de doutorado).
8. FROTA, Anésia Barros & SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de conforto térmico*. São Paulo, Nobel, 1989.
9. INCROPERA, Frank P. & DeWITT, P. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 2th ed. Singapore, John Wiley & Sons, 1985.
10. LECHNER, Norbert. *Heating, cooling, lighting, design methods for architects*. New York, Wiley-Interscience, 1990.
11. MASCARÓ, Lúcia R. de. *Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo, Projeto, 1985.
12. OKE, T. R. *Boundary layer climates*. 2. ed. London, Routledge, 1987.
13. ROSENOW, Warren M. & HARTNETT, James P. (ed.) *Handbook of heat transfer*. New York, McGraw-Hill, 1973.
14. SATTler, Miguel Aloysio. *Computer-aided design techniques for the thermal analysis of low cost housing in Brazil, incorporating the use of shading by trees*. Sheffield, University of Sheffield, jun. 1987. (Thesis of PhD).