

HUMANO: SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

CÓSTOLA, DANIEL (1); ALUCCI, MÁRCIA P. (2)

(1) Arquiteto, formado pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU – USP
(daniel_costola@uol.com.br) Rua Maria Lourenço Fernandes, 92 06764-070,
Taboão da Serra – SP Fone 4701-1333

(2) Prof^a. Dr.^a do Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo FAU – USP (marcialu@usp.br) LABAUT / FAU-USP – Rua do
Lago, 876 05508-900, São Paulo, SP Fone: 3818.4539

RESUMO

Este artigo apresenta uma nova ferramenta para a avaliação do desempenho térmico das edificações, elaborada com fins pedagógicos.

O programa utiliza o índice de conforto do Voto Médio Estimado (Fanger); calcula o Fator Solar de brises horizontais e verticais e calcula a ventilação por efeito chaminé.

O programa foi elaborado utilizando o MS-Excel 2000 e sua estrutura permite que as alterações efetuadas nos dados fornecidos pelo usuário se reflitam automaticamente nos resultados, eliminando a etapa de cálculo e incentivando a experimentação pelo arquiteto.

O software é gratuito e está disponível na página:
<http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/conforto.html>

ABSTRACT

This paper presents a new utility to evaluate the thermal performance of buildings, created for educational reasons.

This software use the Predict Mean Vote Comfort Index (Fanger), calculate the efficiency of vertical and horizontal shading devices, and calculate the stack effect ventilation.

The software was made using MS-Excel 2000, and its structure allows automatic recalculate of the output data whenever new data is input. Therefore the designer will go through the calculate step and enhance experimentation.

INTRODUÇÃO

Muito já se disse sobre a profusão de programas de computador destinados à avaliação dos mais diferentes aspectos do comportamento dos edifícios. Todavia, é fato a baixa utilização destes, seja por alunos dos cursos de graduação e especialização, seja pelos profissionais de projeto, ficando sua utilização restrita ao campo acadêmico.

Podemos creditar este divórcio ao fato de muitos dos programas serem importados, envolvendo altos custos e contendo dados relativos a outros climas e tradições construtivas. Outro motivo é o fato de que os programas nacionais carecem de uma interface mais amigável e não calculam alguns elementos adequados ao nosso clima, como a proteção solar de aberturas, a ventilação por efeito chaminé e cruzada, e as coberturas ventiladas. Por fim, a ausência de índices de conforto em praticamente todos os programas expõe claramente a falta de importância creditada ao dado que, a nosso ver, é o fundamental em qualquer análise: o ser humano.

A constante evolução da informática possibilita que programas extremamente complexos, como os destinados à animação e os jogos de computador, mostrem o resultado de uma alteração

enquanto a mesma esta sendo efetuada pelo usuário, o assim chamado tempo real. Os programas de simulação do desempenho do edifício ainda não incorporaram esta nova realidade, seja pela complexidade dos modelos adotados (programas de iluminação como Dialux e Radiance e os destinados ao cálculo estrutural), seja pela realidade na qual alguns aplicativos mais antigos foram elaborados (VisualDoe, Arquitrop) ou, por fim, devido a uma tradição que se consolidou (como no caso do CTCA¹).

Com relação ao uso de programas de computador no ensino de arquitetura, entendemos que é de fundamental importância a experimentação pelo aluno, e a discussão de resultados pela turma. Neste sentido, MARINS e RIBEIRO (1999), então alunos da graduação, elaboraram o CTCA; um programa com fins educacionais que buscava o processo de análise efetuado nas disciplinas de conforto ambiental da FAU-USP. Entendemos que o presente trabalho é continuação deste processo e que a graduação é a grande possibilidade de criar arquitetos não só conscientes, mas aptos a efetuar as análises necessárias dentro da dinâmica e prazos dos projetos.

Outra questão em nosso país, que se mostra mais importante hoje que no passado, é a da relação entre os problemas energéticos que enfrentamos nos últimos anos e a legislação relativa às construções. ROMERO (2002) apresenta os ganhos gerados em outros países pela adoção de normas que relacionem às características dos edifícios com seu desempenho energético, e TOLEDO (2001) nos mostra a completa dissociação existente entre nossa legislação e os modernos critérios de dimensionamento das aberturas. É imprescindível o desenvolvimento de programas de computador que dêem suporte a novas legislações, e talvez agora, como em outros países, o apoio a este desenvolvimento por parte do Estado e das empresas geradoras de energia ganhe a dimensão necessária.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a elaboração de um programa de computador que atendesse às seguintes premissas:

1. Calcular o desempenho de estratégias para a obtenção de conforto, típicas do nosso clima, dos quais foram escolhidos os brises e a ventilação por efeito chaminé.
2. Apresentar os resultados em tempo real, mostrando simultaneamente as entrada de dados e os valores calculados.
3. Utilizar um índice de conforto como resultado, preferencialmente um que possibilitasse alterações da zona de conforto em função da atividade e da vestimenta.
4. Possuir interface amigável, impedindo a entrada de dados incorretos e auxiliando o usuário a “descobrir o programa”.

METODOLOGIA

O programa foi desenvolvido usando como base o MS-Excel 2000 e a linguagem Visual Basic for Applications - VBA. Esta opção foi feita, levando em conta o grande número de pessoas que utilizam o programa, e a grande quantidade de aplicações rudimentares construídas utilizando o MS-Excel, as quais não é dado o justo valor. Apesar deste não ser o objetivo principal desta pesquisa, as possibilidades deste sistema foram exploradas em um nível superior ao usual, mostrando assim as suas capacidades.

Os algoritmos relativos à posição do sol e a radiação solar são os presentes em RORIZ (1996), e estimam a radiação direta e difusa considerando a nebulosidade do local. Apesar da diferença existente entre estes dados e aqueles provenientes de medições, a indisponibilidade de dados em grande parte das cidades brasileiras nos obrigou a optar por uma solução teórica.

Para o cálculo da temperatura interna e inércia, foi escolhido o método do CSTB, conforme apresentado em FROTA e SCHIFFER (1995). Apesar da simplicidade do método,

¹ Software desenvolvido na Fau-Usp, por MARINS e RIBEIRO (1999)

principalmente no trato da inércia, as vantagens relativas a velocidade de cálculo, simplicidade na programação, e ao fato de ser um método amplamente conhecido e utilizado no país, pesaram na escolha deste sistema. Utilizando tais recursos são calculadas, para um único recinto, as temperaturas internas, máxima e mínima, nos meses mais quente e mais frio.

Uma vez que o objetivo do programa é acadêmico, o fato do programa não calcular a temperatura hora a hora não se apresenta como um grande problema. A partir dos resultados apresentados, o aluno poderá compreender o desempenho do recinto ao longo do ano, de forma rápida e simples. Julgamos que a utilização de sistemas mais complexos, como o *Procedimento da Admitância*, é mais adequada a programas que apresentem como resultado os graus/hora de desconforto e análises de desempenho de sistemas de condicionamento.

O fato de a análise ser unicompartimental se deve a simplicidade de descrição da geometria do recinto, possível em sistemas sem o uso de CAD.

O modelo de determinação do fator solar dos brises é o apresentado por RIVERO (1987). Este modelo considera a radiação direta e difusa, sem reflexão no brise, que atinge o caixilho. Aqui também, optou-se por um sistema simples, em detrimento de sistemas mais complexos, como o desenvolvido por GOES (1993), que permite a completa dissociação entre a geometria do caixilho e o sistema de brises. Foram disponibilizados somente os algoritmos relativos aos brises sem inclinação e infinitos. Deve-se destacar que estes algoritmos, baseados nas relações entre a geometria do brise, a do caixilho, e a posição relativa do sol, permitem calcular o fator solar da proteção hora a hora, dando assim ao projetista maior domínio sobre o desempenho do dispositivo projetado. As proteções internas, cortinas e persianas, tem o Fator Solar apresentado em OLGAY (1998)

A ventilação por efeito chaminé é calculada baseada no método para determinação da linha neutra apresentado por TOLEDO (1967). Julgamos inadmissível a prática corrente de estimar o número de renovações de ar, herança de abordagens ao problema realizadas em climas onde as infiltrações são responsáveis por perdas de carga de aquecimento. A ventilação pela ação dos ventos não é considerada nesta versão. FROTA (1989) aponta que a ventilação por efeito chaminé esta sempre presente, enquanto a devida à ação dos ventos não é constante, faltando muitas vezes em que é necessária.

O índice de conforto adotado foi o apresentado por FANGER (1972) conforme presente em RORIZ (1996), chamado de Voto Médio Estimado, e que apresenta a Porcentagem Esperada de Insatisfeitos. Apesar das diversas críticas apresentadas por colegas, já se passaram 30 anos de sua elaboração, e nenhum estudo foi levado a cabo em nosso país para adequar e aprimorar este índice. Sua versatilidade, considerando diferentes atividades físicas e vestimentas, é muito adequada a um programa como este, porém, é inegável que aprimoramentos são necessários. Estudo recentemente de BRAGER e BEAR (2001) procura rever este índice. Os resultados apontam para zonas de conforto mais amplas, adequadas a ambientes sem condicionamento artificial. Estes aprimoramentos não foram incorporados ao programa.

O programa estima o consumo de energia elétrica com climatização, conforme RORIZ (2001), e considera os gastos com resfriamento. Este modelo, assim como os demais, é simples e possibilita ao usuário compreender a relação entre consumo de energia e as decisões arquitetônicas. Considera-se para a avaliação do consumo, a energia necessária para manter a temperatura interna em 24°C, apenas em situações de resfriamento.

Com relação à construção da interface com o usuário, e a prevenção à entrada de dados incorretos foram adotadas as seguintes estratégias:

1. Simplificar a entrada de dados: colocando dados correlatos próximos entre si e diminuindo o número de telas, menus e afins.
2. Dotar todos os campos de entrada de dados de conferências básicas relacionadas à natureza do dado fornecido e a um intervalo válido.
3. Dotar os campos de entrada de dados, de *comentários* trazendo informações sobre o preenchimento do campo em questão. Comentários são mensagens que o MS-Excel exhibe quando se posiciona o mouse sobre uma célula.

4. Criar conferências sistêmicas, impedindo a utilização de novos campos sem que o “assunto” anterior tenha se esgotado. Por exemplo, não é possível configurar um caixilho se a face não foi configurada.
5. Impedir a visualização dos resultados se a entrada de dados estiver incorreta.

RESULTADOS

A figura 1 mostra a tela inicial do programa. O usuário escolhe a cidade, e alguns dados, como temperaturas e radiação solar, são apresentados. Aqui podemos ver a simultaneidade entre entrada e saída de dados. A barra de navegação, à direita, dá acesso às outras telas.

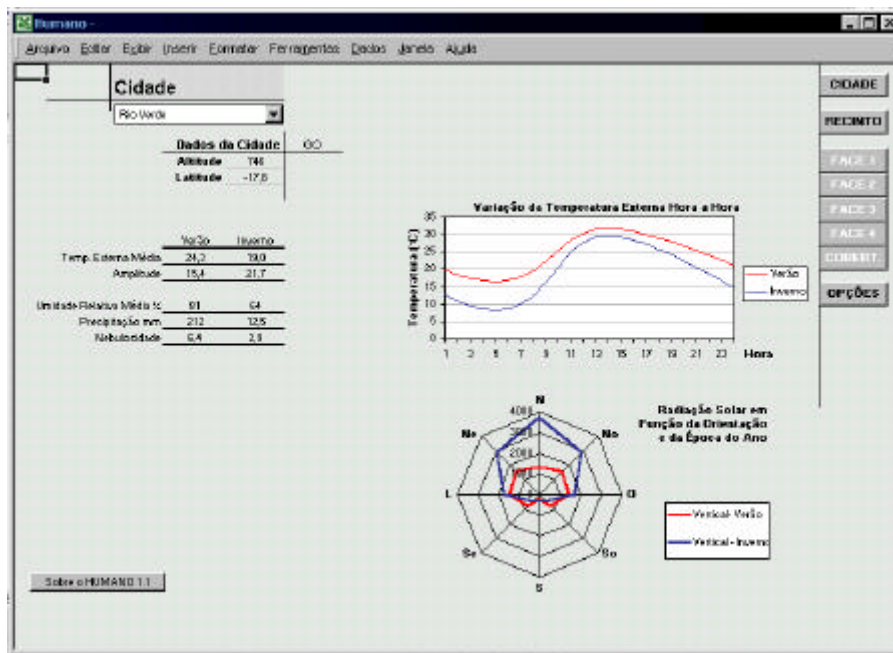


Figura 1

A figura 2 mostra a tela padrão de entrada de dados, com todos os campos ativados. As dimensões e orientação da face podem ser definidas, assim como sua condição, externa ou interna. Podem ser utilizados dois tipos de vedação por face, e um tipo de caixilho.

A descrição dos vedos deve ser feita para cada face, prática pouco usual em programas de conforto térmico. Esta decisão procura eliminar os “módulos para definição dos vedos” tornando as informações mais acessíveis, para alterações e para reflexões sobre as decisões de projeto. O conceito de vedo padrão permite utilizar o mesmo vedo em todas as faces, diminuindo o trabalho com a entrada de dados repetitivos.

A definição das proteções solares é feita após a definição do caixilho. Consiste em determinar a largura da lâmina do brise e o espaçamento entre as diversas lâminas. O gráfico apresenta os ganhos pelo caixilho, com e sem brise, para inverno e verão, hora a hora. O Fator Solar é apresentado para os mesmos períodos.

Ainda na figura 2, podemos ver os resultados calculados pelo programa. Os dados numéricos, na barra de resultados abaixo a direita, ficam sempre visíveis; enquanto os gráficos podem ser alternados entre os relativos a carga térmica e o relativo ao índice de conforto, usando os botões na barra de navegação. Mais uma vez, é importante salientar que as modificações efetuadas na configuração das faces se traduzem na imediata atualização dos resultados calculados.

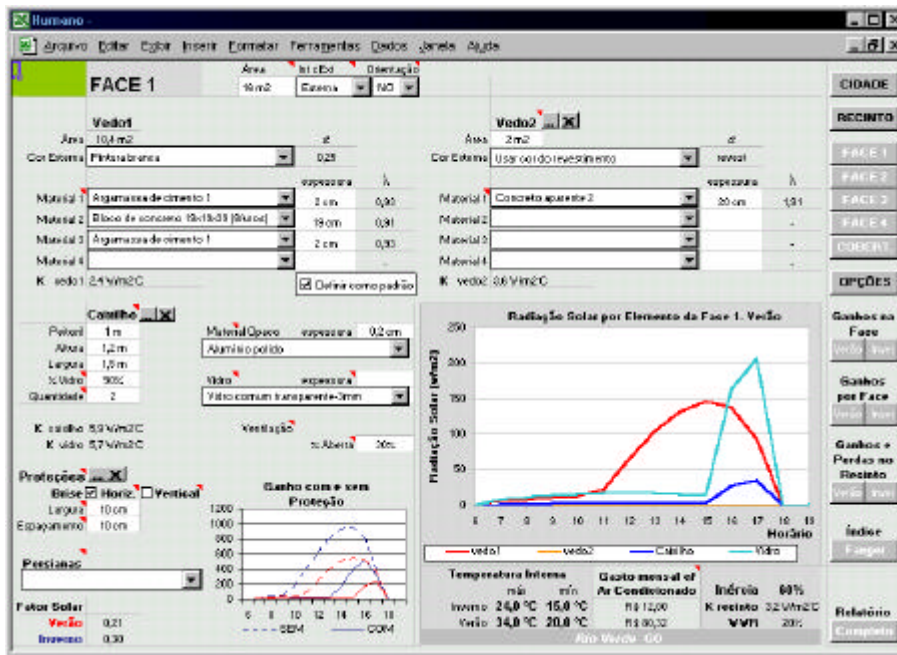


Figura 2

Todos os campos para entrada de dados fornecem dicas de preenchimento quando o mouse para sobre a célula, e impedem a entrada de dados incorretos. Se o usuário tentar ativar um campo, ou mudar de tela, sem preencher todos os dados necessários, uma mensagem de erro é exibida orientando o usuário.



Figura 3

O programa imprime um relatório completo, com os dados fornecidos e os resultados calculados.

Os resultados apresentados na forma de gráfico são mostrados nas figuras 4 a 7.

No Gráfico da Porcentagem Prevista de Insatisfeitos (figura 7) é estabelecida uma avaliação: Conforto, Levemente Frio, Frio, Levemente Quente e Quente, baseada na escala de conforto utilizada por FANGER .

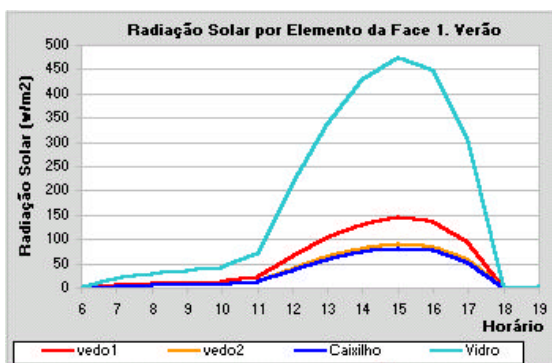


Figura 4 - Gráfico de ganho de calor na face por elemento. Para inverno ou verão.

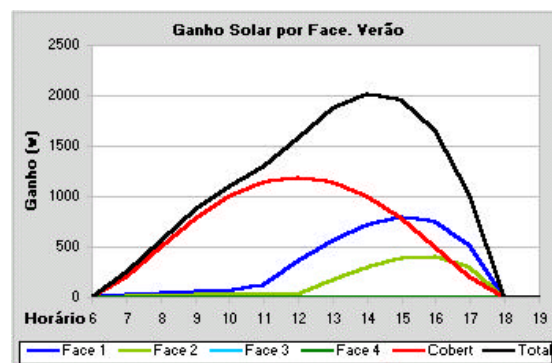


Figura 5 - Gráfico de ganho de calor por face. Para inverno ou verão.

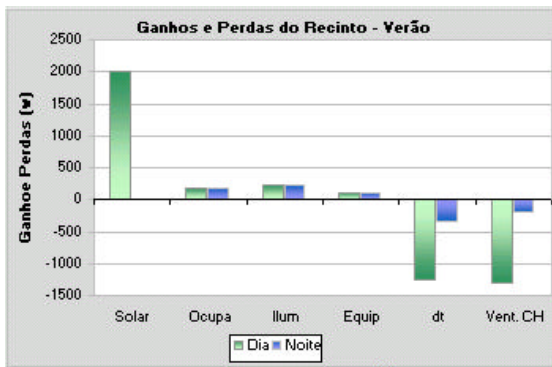


Figura 6 - Gráfico de ganho de calor por modalidade. Para inverno ou verão.

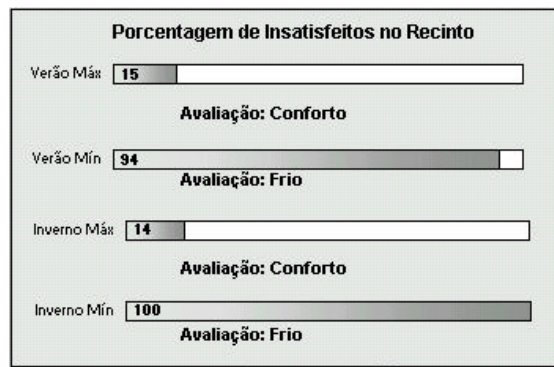


Figura 7 - Gráfico da Porcentagem Prevista de Insatisfeitos..

As figuras 8 e 9 apresentam as telas RECINTO e OPÇÕES.

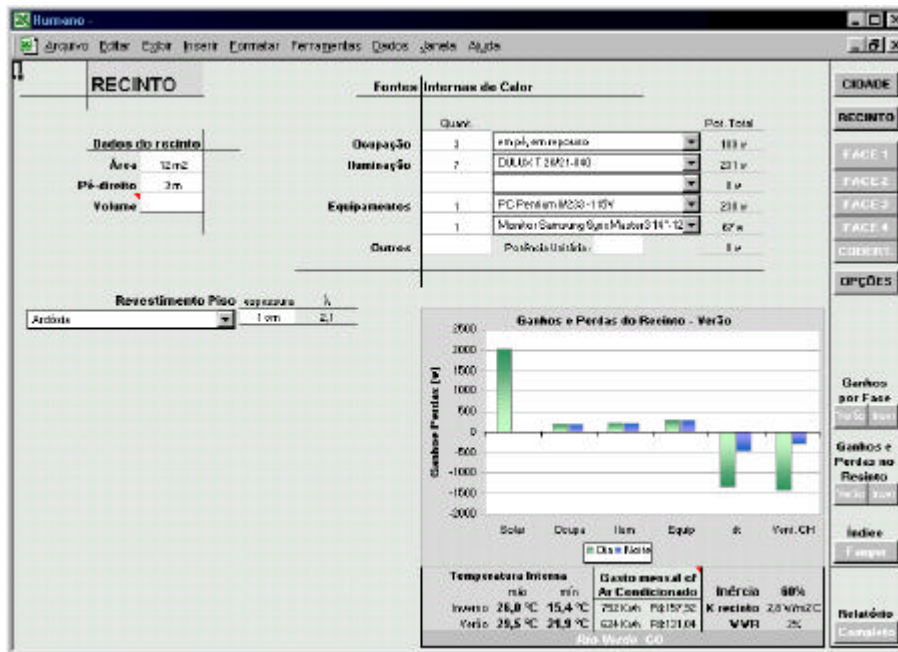


Figura 8

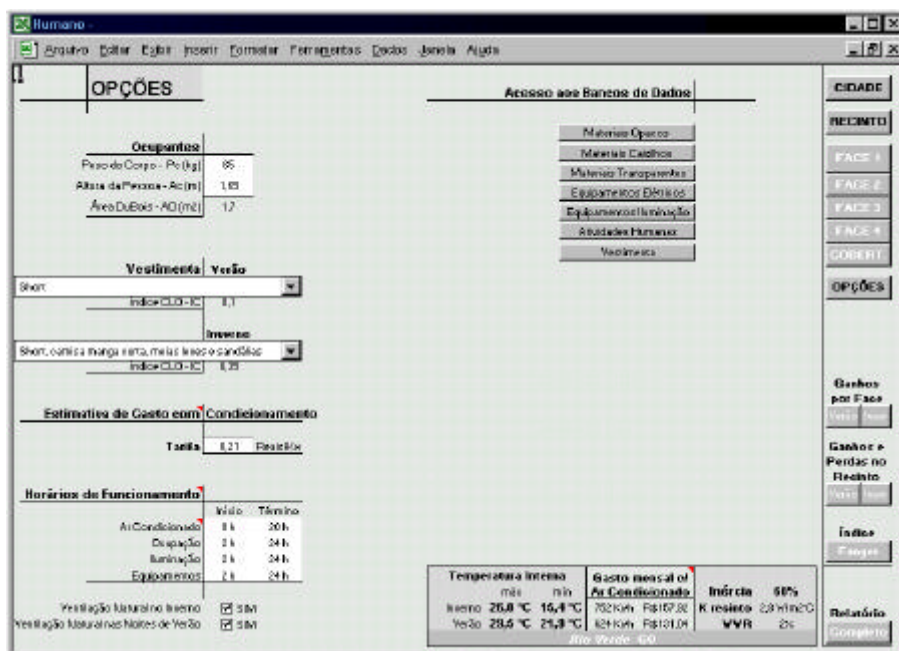


Figura 9

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Julgamos que os objetivos primordiais deste trabalho foram alcançados a despeito da simplicidade dos modelos adotados. Contudo cabe aos usuários a palavra final sobre o resultado. É possível, todavia, comentar os resultados de algumas decisões tomadas no início deste projeto.

Com relação ao cálculo de brises e da ventilação por efeito chaminé, podemos afirmar que os modelos escolhidos se mostraram satisfatórios às premissas do programa, de proporcionar resultados rápidos e estimular a experimentação. Diversas possibilidades de configuração, tanto dos brises como de ventilação, foram excluídas do programa, devendo ser estudadas suas inclusões em futuras versões.

A apresentação dos resultados em tempo real foi obtida em função da linguagem escolhida para a elaboração do programa, e a simplicidade dos modelos adotados. Esperamos que o presente trabalho seja exemplo para futuros programas neste sentido, uma vez que as vantagens deste sistema são aqui claramente percebidas.

A adoção do índice de conforto de FANGER, calculado para as temperaturas mínima e máxima, de verão e inverno, fornece uma idéia do comportamento do edifício ao longo do tempo. A possibilidade de controlar a vestimenta dos indivíduos, assim como o uso de ventilação, para diferentes épocas do ano, fortalece a idéia do edifício em interação com o usuário em busca das condição de conforto. Podemos dizer que as maiores deficiências do cálculo feito manualmente são o já citado desestímulo à experimentação, à modificação, e em segundo lugar a simplicidade excessiva de alguns modelos de cálculo adotados. Neste caso, a adoção de um sistema mais complexo se mostrou necessária, e o resultado, positivo.

As premissas adotadas, relativas à interface, se mostraram adequadas à arquitetura do programa, principalmente em relação à prevenção na entrada de dados inválidos. A falta de ilustrações explicativas decorreu das possibilidades limitadas da linguagem de programação escolhida. Podemos concluir que a criação de interfaces mais sofisticadas esta condicionada a adoção de uma nova linguagem de programação. Ainda com relação à linguagem escolhida (Excel e VBA), devemos salientar que ela foi decisiva para o cumprimento dos prazos e custos desta pesquisa. Somente foi programado usando VBA a interatividade do programa (botões, caixas de seleção) e algumas conferências relativas à entrada de dados.

Com relação aos modelos demais adotados, o paralelo com os cálculos feitos manualmente ajuda o aluno/usuário a entender como o programa atinge os resultados exibidos. A capacidade de dotar os resultados fornecidos de significado é um dos grandes desafios do uso de programas de computador no ensino de qualquer disciplina. Acreditamos que a simultaneidade entre entrada de dados e exibição dos resultados, aliada à simplicidade dos modelos adotados, trabalha em prol desta capacidade.

BIBLIOGRAFIA

BRAGER, G.S., BEAR, R. (2001) Uma norma para ventilação natural, *in*: Revista Climatização n° 7, RPA Editorial, São Paulo.

FANGER, P.O. (1972) Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental engineering. McGraw-Hill Book Company, Nova York.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. (1987) Manual de Conforto Térmico: Arquitetura e Urbanismo. Studio Nobel, São Paulo, 2000.

FROTA, A. B. (1989) Ventilação de edifícios industriais. Tese de Doutorado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo

GOES, C. A. (1993) Considerações sobre brise-soleils e proposta de cálculo de radiação solar sobre brise e janela. Tese de Mestrado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

JACOBSON, R. (1998) Microsoft Excel 97, Visual Basic passo a passo. Makron Books, São Paulo.

OLGYAY, V. (1998) Arctectura y Clima. Gustavo Gilli, Barcelona.

ROMÉRO, M. (2002) Efeito de regulamento climático-energético na arquitetura no Brasil, *in*: Revista Climatização n° 26, RPA Editorial, São Paulo.

RORIZ, M. (1996) Conforto Térmico em Edificações: Um Modelo Matemático e uma Aplicação. Tese de Doutorado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo

RORIZ, M. (1991) Consumo de energia no condicionamento térmico de edificações: Um método de avaliação. In: IV Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, São Pedro. *Anais*. CD-Rom – ANTAC.

RIVERO, R. (1987) Eficacia de algunos sistemas de parasoles ante la radiacion solar. Mimeo, Facultad de Arquitectura, Montevideo.

TOLEDO, A. (2001) Critérios para o dimensionamento de aberturas de ventilação natural dos edifícios. In: IV Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, São Pedro. *Anais*. CD-Rom – ANTAC.

TOLEDO, E. (1967) Ventilação Natural dos Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.