

Metodologias Simplificadas de Avaliação do Desempenho Energético de Edificações

Velinton de Aquino Neumann

Escola de Engenharia e Arquitetura

Universidade Católica de Pelotas

Curso de Eletromecânica - CEFET-RS

Paulo S. Schneider

GESTE - Grupo de Estudos Térmicos e

Energéticos

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo

Esse trabalho apresenta uma revisão das principais metodologias simplificadas de avaliação do desempenho energético de edificações. As diversas formas de modelagem dos fenômenos térmicos é apresentada para então mostrar as metodologias simplificadas em ambientes monozona. A maior atenção é dada aos modelos baseados em analogia elétrica e em regressão linear. Após a revisão, é feita uma avaliação crítica das diversas metodologias apresentadas para possibilitar a escolha de uma dessas para o desenvolvimento de um diagnóstico energético conforme o grau de precisão desejado.

Introdução

A avaliação do comportamento térmico de uma edificação ainda em fase de projeto é baseada em dados que muitas vezes ainda estão em curso de definição, e que poderão sofrer alterações. Portanto, não é econômico e prático o uso de programas de simulação detalhados para prever o desempenho térmico e energético da futura edificação. Para tal tarefa seria mais conveniente o emprego de uma ferramenta mais genérica. Também as avaliações de custo energético prescindem menos de detalhes da construção, o que dispensa programas muito sofisticados. Uma ferramenta eficiente para este fim deve ser desenvolvida de forma que a complexidade dos problemas seja reduzida sem sacrificar, na mesma proporção, a precisão das respostas. Ela deve proporcionar a análise de vários tipos de edificações reais, com uso amigá-

vel, onde o usuário seja capaz de dominá-la em pouco tempo, e que os valores de entrada sejam reduzidos aos dados mais significativos e que o tempo de simulação seja pequeno.

Este trabalho apresenta os enfoques de modelagem de edificações encontrados atualmente e depois foca sua atenção nas metodologias de modelagem simplificadas, que são adaptadas ao propósito de simulações rápidas.

Enfoques de Modelagem

A modelagem dos fenômenos físicos observados numa edificação forma um problema que envolve tanto sistemas fluidicos (ar das peças, cavidades etc.) como sólidos (envelope da edificação, estrutura interna etc.). A figura 1 mos-

tra 3 dos enfoques mais empregados para esta modelagem.

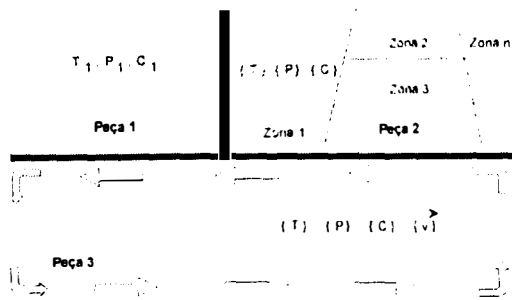


Fig. 1 - Modelagem dos volumes de ar de uma edificação multipeça segundo os enfoques monozona (peça 1), multizona (peça 2) e por modelos de campo (peça 3)

O enfoque monozona é caracterizado pelas variáveis de estado temperatura T_1 , pressão P_1 e concentração C_1 em valores médios. As superfícies de contorno do volume coincidem com as paredes da peça. O conceito de zona é aplicado a um volume contendo uma mistura de gases a concentração constante (Feustel et al., 1990), onde se constata que a concentração é fracamente acoplada à pressão, mas fortemente acoplada à temperatura. Logo, podemos admitir um campo variável de pressões num volume onde os campos de concentração e de temperatura são uniformes. O enfoque **multizona**, na peça 2, o volume de uma única peça é dividido em várias zonas (Laret, 1980). Este conceito é seguidamente confundido com o de multipeça, que é reservado exclusivamente à descrição geométrica da edificação. Finalmente, o modelo de campo (peça 3) é formado pelas equações da continuidade, da conservação da energia e da quantidade de movimento, permitindo a determinação dos campos de temperatura, pressão, concentração e velocidades.

A simulação por modelos de campos é atualmente o que se dispõe de mais detalhado, e que possibilita a observação de fenômenos de transferência em escalas reduzidas. Dispõe-se hoje de pacotes de simulação com interfaces gráficas evoluídas, mas seu emprego ainda é reserva-

do aos profissionais capazes de interpretar criticamente os resultados. O enfoque multizona tem pouca abrangência e é reservado a situações onde se estabeleça um escoamento interno esperado, como aquele provocado por um radiador de calefação.

A simulação monozona é a mais empregada na simulação de comportamento energético, não só em função da simplicidade do equacionamento, mas também porque é uma aproximação razoável quando se trata de ambientes climatizados. A partir do enfoque monozona é que se desenvolvem os balanços de transferência de calor e massa, cujo conjunto de equações é resolvido aplicando-se métodos tradicionais de solução de sistemas (lineares ou não) ou ainda com o auxílio de esquemas como fatores de resposta, analogia elétrica, métodos nodais etc.

Métodos Detalhados

Existem vários programas que empregam modelos detalhados seguindo o enfoque de modelagem monozona, os quais são empregados para simular em detalhes as edificações compostas por múltiplas peças. Eles geralmente apresentam a capacidade de levar em conta as características construtivas das edificações, sua geometria e orientação, o tipo de utilização e em muitos casos acoplam os tipos de equipamentos de climatização dos ambientes. Dentre os programas mais conhecidos citam-se o DOE e o TRNSYS (Klein et al., 1994) por representarem empregos diferentes. O DOE é um programa direcionado à análise energética de edificações, alcançando melhores resultados quando a temperatura das zonas é controlada. Entre suas virtudes encontra-se a capacidade de acoplar-se sistemas de climatização e outros sistemas mecânicos auxiliares. O TRNSYS é mais abrangente, pois trata-se de um ambiente de simulação, capaz de simular sistemas térmicos em geral. Além de possuir dois modelos voltados à simulação de ambientes, também dispõe de rotinas para equipamen-

Modelos de edificação- Nesse modelo, a edificação toda é representada por um único circuito análogo, respeitando as hipóteses de transferência de calor unidimensional e de propriedades constantes, além de englobar todas as peças de edificação em um único nó, o que quer dizer que todos os ambientes estão à mesma temperatura. Podem-se empregar modelos de Primeira ou Segunda Ordem, isto é, com uma ou duas constantes de tempo respectivamente, descritos a seguir.

Modelos de Primeira Ordem- Apresentam uma constante de tempo, representada por uma única capacitância térmica. Uma importante razão para desenvolver modelos de primeira ordem é a sua representação simplificada e sua consequente rapidez de solução. Segundo Mathews et al. (1993) um circuito com uma única constante de tempo, como o da figura abaixo, pode ser muito útil para determinar a performance térmica da edificação.

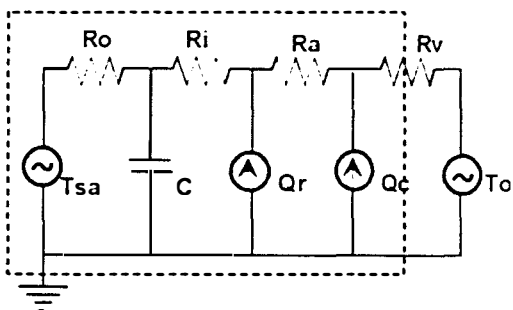


Fig 4 - Circuito elétrico análogo de primeira ordem

A linha tracejada delimita o contorno ou envoltória da edificação, e os elementos do circuito são T_{sa} - temperatura sol - ar, R_o - resistência da parte externa do envelope, C - capacitância térmica total, incluindo o ar do ambiente interno e a estrutura, R_i - resistência da parte interna do envelope, Q_r - fonte radiante de calor dissipado no ambiente, R_a - resistência do ar interno. Q_c - fonte convectiva de calor dissipado no ambi-

ente, R_v - resistência devido à ventilação, T_o - temperatura do ar exterior.

O circuito tem uma interpretação física muito clara, o que facilita a inclusão de novas arquiteturas e materiais de construção. Se somente as características essenciais da edificação são descritas, os dados de entrada exigidos serão modestos e ainda sua aplicação não irá requerer conhecimento particular em análise térmica. Essas características facilitam a avaliação das várias opções de um projeto básico em poucos segundos.

Modelos de Segunda Ordem- Segundo Penman (1990) um modelo simplificado de Segunda Ordem (Fig.5), segue as mesmas hipóteses de simplificação adotadas para o modelo anterior.

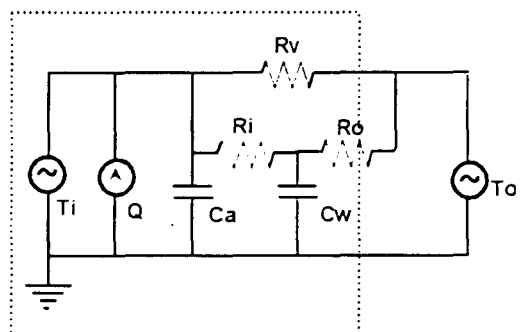


Fig. 5 - Circuito elétrico análogo de segunda ordem

Nesse modelo, o fluxo de calor (Q) incluindo os ganhos solares, da dissipação de equipamentos e ganhos casuais é aplicado diretamente à temperatura do ar interno, que tem associado à capacitância térmica (C_a) como uma fonte convectiva. A capacitância engloba o ar interno e a contribuição das camadas internas das paredes e do teto. A temperatura do ar interno (T_i) é conectada à temperatura do ar exterior (T_o) por dois caminhos, um de resposta rápida, que é representado pela resistência de ventilação (R_v), e o de resposta lenta. Esse último é formado pelas resistências da estrutura interna (R_i) e externa (R_o), associadas à capacitância da

massa estrutural (C_w). Esses parâmetros do modelo podem ser calculados através dos dados da estrutura 013 através de séries temporais da temperatura interna, externa e das entradas de calor da edificação.

Regressões Lineares

Segundo Lam (1997) a análise de regressão é uma técnica estatística usada para relacionar variáveis. O objetivo é construir um modelo relacionando uma variável dependente com outras variáveis independentes. As técnicas de regressão têm sido usadas para estudar os efeitos de vários parâmetros na performance energética de edificações e para desenvolver equações simplificadas para padrões de consumo de energia. Pelas variáveis de entrada de uma edificação de referência, um grande número de simulações detalhadas são rodadas, gerando os dados necessários para obter, assim, expressões algébricas que se relacionam à performance da edificação com os parâmetros de projeto. Para Signor (1999) uma equação capaz de relacionar as principais variáveis construtivas que influenciam no consumo de energia de uma edificação comercial, deve considerar as seguintes variáveis: a área total de telhado e das fachadas; fator de projeção, coeficiente de sombreamento dos vidros, transmitâncias do telhado e das paredes, a absorvidade à radiação e da carga interna que se divide em potência de iluminação, carga dos equipamentos e de ocupação.

Os métodos de análise por regressão, embora sendo fáceis de serem utilizados, apresentam o problema da falta de generalidade de aplicação e de flexibilidade, devido às condições exploradas no projeto de referência no seu desenvolvimento, como por exemplo uma determinada geometria da edificação, a localização, as limitações do programa de simulação detalhado, se esse for o processo de validação. O efeito das ilhas de calor comum nas grandes cidades também colaboram, pois

geralmente os dados climáticos são levantados em regiões periféricas e por isso não correspondem fielmente ao clima no qual a edificação está inserida.

Conclusão

O trabalho centra suas atenções na revisão das metodologias simplificadas de representação do comportamento térmico de edificações, seguindo um enfoque monozona de modelagem dos ambientes. Os modelos de analogia elétrica têm a capacidade de simular tanto a evolução térmica livre de ambientes como o comportamento energético, quando se fixa a temperatura de climatização. A aproximação com circuitos elétricos permite o emprego de programas de simulação dessa última área. A maior dificuldade desses modelos é o cálculo dos parâmetros que alimentam os circuitos análogos. O modelo de regressão linear, ou de outra ordem superior é muito prático e de fácil utilização, tendo seu uso restrito a avaliações energéticas e sua exatidão, dependente da extensão do universo analisado, que serviu como base para sua elaboração.

Referências Bibliográficas

- DOE-2 *Supplement Version 2.1E* (1993), Rep. No.LBL-34947, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA.
- FEUSTEL, H et al (1990) *Fundamentals of the Multizone Air Flow Model-COMIS*, Conventry: University of Warkick Science Park, Barclays Venture Centre, Air Infiltration and Ventilation Centre. Technical Note AIVC 29.
- KLEIN et al, (1994) *A Transient System Simulation Program*, Version 14.2, Madison : Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin.
- LAM, J.C. (1997): Regression analysis of high-rise fully air-conditioned office buildings. *Energy and Buildings*, 26, pp. 189-197

- LARET, L. (1980) *Contribution au Développement des Modèles Mathématiques du Comportement Thermique Transitoire des Structures de Habitation*. Tese de Doutorado: Université de Liège
- MATHEWS, E.H. et al (1993): An Efficient Tool for Future Building Design, *Building and Environment*, vol 28, nº 4, pp. 409-417
- MATLIEWS, E.H. et al (1991): A Procedure to Estimate the Effective Heat Storage Capability of a Building, *Building and Environment*, vol 26, nº 2, pp. 179-188.
- ANDRÉ, J.N. et al. (1994): Analysis Methodology, Experimental Investigation, and Computer Optimization of a Passive Solar Commercial Building in the Belgian Climate. *Solar Energy*, vol 52, nº 1, pp. 9-25.
- PENMAN, J.M. (1990): Second Order System Identification in the Thermal Response of a Working Scholl, *Building and Environment*, vol 25, nº 2, pp. 105-110.
- PENMAN, J.M. et al.(1996): Simplified Thermal Response Modelling in Building Energy Management. Paper III: Demonstration of a Working Controiler, *Building and Environment*, vol 31, nº2. pp. 93-97
- RODRIGUEZ, E.A. (1990) *Sistematización de Acoplamientos Termicos y Termoeraulicos en la Simulation de Edificios*, Tese de Doutorado: Universidade de Sevilha, 1990, 227 p.
- SIGNOR, R. (1999): *Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica Frente a Variáveis Arquitetônicas para Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileiras*, Dissertação de Mestrado, UFSC.