Modelagem de um Sistema de Controle de Ar Condicionado utilizando *Matlab*

Neila Karina, Dorotéa Vilanova Garcia

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
Email: neilakarina@hotmail.com.br

Resumo: Dentre as tendências de uso racional de recursos, principalmente energia, e da necessidade de assegurar a produtividade e qualidade na execução de atividades produtivas destaca-se o conceito de edifício inteligente. Este ambiente materializa o conceito de integração dos sistemas prediais potencializando a otimização dos recursos e a eficiência do trabalho humano. Neste contexto, abordagens conceituais baseadas em sistemas a eventos discretos com aplicação na ferramenta *Matlab* têm sido introduzidas como uma alternativa eficaz de modelagem e análise das soluções de integração dos sistemas prediais. Resultados expressivos podem ser obtidos com a aplicação destas iniciativas através dos métodos propostos para a modelagem e análise de estratégias de gerenciamento de ar condicionado, utilizando uma abordagem híbrida, onde são considerados os aspectos de sistemas de eventos discretos e as variáveis de dinâmica contínua. Contudo, as abordagens e métodos existentes são limitados a soluções específicas de implementação, como os sistemas de ar condicionado com volume de ar contínuo. Assim, o presente trabalho introduz uma extensão destas abordagens para modelar e analisar soluções de automação predial que incluem sistemas de ar condicionado com volume de ar variável. A eficiência deste método na concepção e validação destas soluções é ilustrada através de um estudo de caso.
Palavras-chave: Ar condicionado, Refrigeração, *Matlab*

Modeling a Air Conditioning Control System Using the Matlab Tool

Abstract: Among the trends of rational use of resources, mainly energy, and the need to ensure productivity and quality in the execution of productive activities stands out the concept of intelligent building. This environment materializes the concept of integration of the building systems, enhancing the optimization of resources and the efficiency of human work. In this context, conceptual approaches based on discrete event systems with application in the *Matlab* tool have been introduced as an effective alternative of modeling and analysis of the integration solutions of the building systems. Expressive results can be obtained with the application of these initiatives through the proposed methods for the modeling and analysis of air conditioning management strategies, using a hybrid approach, where the aspects of discrete event systems and the variables of continuous dynamics are considered. However, existing approaches and methods are limited to specific implementation solutions, such as continuous air volume air conditioning systems. Thus, the present work introduces an extension of these approaches to model and analyze building automation solutions that include air conditioning systems with variable air volume. The efficiency of this method in the design and validation of these solutions is illustrated through a case study.
Keywords: Air conditioning, Refrigeration, *Matlab*

Introdução

No atual contexto mundial, a utilização de recursos de forma econômica e sustentável é um requisito fundamental no projeto de novos sistemas. Em particular nos

sistemas produtivos e na infraestrutura civil envolvida, estes requisitos são decisivos para a viabilização financeira de novas instalações industriais, comerciais ou residenciais. Entre os principais pontos a serem considerados estão os custos diretos, relacionados ao consumo de água, energia elétrica, entre outros, e os custos indiretos, relacionados à manutenção e operação dos sistemas que hoje compõem a infraestrutura civil. Neste contexto, os crescentes avanços tecnológicos nas áreas de automação, abrangendo as tecnologias de comunicação, mecatrônica e processamento de informações, permitem a consideração e o atendimento de requisitos adicionais como flexibilidade, segurança e produtividade no projeto de edifícios modernos [1].

Dentre os sistemas que compõem um edifício inteligente, destaca-se o sistema de ar condicionado, que influencia sensivelmente tanto o aspecto econômico, por ser responsável muitas vezes por mais de 60% do consumo de energia em uma edificação, além dos custos de manutenção, quanto os aspectos de produtividade e satisfação dos usuários, por ser responsável pela manutenção do conforto térmico dos mesmos, regulando parâmetros como temperatura, umidade e grau de renovação do ar ambiente [2].

O conceito de edifício inteligente está estreitamente vinculado à efetiva integração dos sistemas que controlam as atividades em uma edificação. Quando não existe uma comunicação entre estes sistemas, o resultado muitas vezes é contrário ao desejado, resultando em ações incompatíveis ou indesejadas, e que inclusive aumentam os custos operacionais e de manutenção [3]. Serão apresentadas, as principais características de um sistema de condicionamento de ar abordando as variações conceituais e as metodologias para controle de temperatura de um ambiente, cujo os resultados foram gerados e validados pelo *software Matlab*. Essa ferramenta é muito apropriada para aplicações técnicas, principalmente dentro da área da engenharia, pois possui funções especificas para tratamento de dados numéricos, auxiliando na resolução de problemas de uma forma bem simples e de fácil entendimento [4]. Pode-se entender um programa computacional como sendo a transcrição de um algoritmo para a sintaxe da linguagem de programação que se está utilizando [5].

Pretende-se com este trabalho analisar o comportamento da vazão mássica, potência do compressor, coeficiência de eficácia, vazão na entrada do compressor e potência da refrigeração, alterando o valor de entrada referente à taxa de refrigeração, gerando os resultados através da ferramenta *Matlab*.

Metodologia

A metodologia é organizada em duas etapas principais, são elas: a etapa 1 (denominada definição de estratégias) e a etapa 2 (denominada comparação dos resultados).

a) Definição de estratégias: caracteriza-se pela criação do código *Matlab*. O programa que fornece o cálculo de todas as variáveis envolvidas na refrigeração mediante a entrada de algumas informações pelo usuário do sistema.
b) Simulação e comparação dos resultados: nesta etapa, é realizada a simulação, de forma individual, do comportamento das variáveis envolvidas para o dimensionamento do sistema de ar condicionado através da variação do parâmetro da taxa de refrigeração e em sequência são analisados os resultados obtidos para cada simulação.

Definição de Estratégias - Apresentação do código *Matlab*

Mostra-se abaixo o código elaborado na ferramenta *Matlab*, na sua versão 12.0, visando realizar a simulação do comportamento das variáveis de acordo com a taxa de refrigeração desejada.

```
% PROGRAMA PARA CÁLCULO DO COEFICIENTE DE EFICÁCIA E CONSEQUENTE POTÊNCIA
% DE REFRIGERAÇÃO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO
% Entrada de informação pelo usuário: TAXA DE REFRIGERAÇÃO DE ACORDO COM % O REFRIGERANTE UTILIZADO - Tr
clc;
disp 'PROGRAMA PARA CÁLCULO DO COEFICIENTE DE EFICÁCIA E CONSEQUENTE POTÊNCIA'; disp 'DE REFRIGERAÇÃO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO';
Tr=input('\n ENTRE COM A TAXA DE REFRIGERAÇÃO: ');
Ha=input('ENTRE COM A ENTALPIA DO VAPOR SATURADO – Há: ');
Hb=input('ENTRE COM A ENTALPIA DO VAPOR SUPERAQUECIDO – Hb: ');
Hd=input('ENTRE COM A ENTALPIA DO LÍQUIDO SATURADO – Hd: ');
Er=Ha-Hd;
w=Tr/Er;
Wsh = w * (Hb - Ha);
Cef=Tr/Wsh;
Vesp=input('ENTRE COM O VALOR DO VOLUME ESPECÍFICO NO PONTO DE VAPOR SATURADO -> Vesp: ');
Qe=Vesp*w;
PR=Wsh/Tr;
fprintf('O VALOR DO EFEITO DE REFRIGERAÇÃO -> Er = %6.2f kJ/Kg \n', Er);
fprintf('O VALOR DA VAZÃO MÁSSICA -> w = %6.2f kg/s \n', w);
fprintf('O VALOR DA POTÊNCIA DO COMPRESSOR -> Wsh = %6.2f kW \n', Wsh);
fprintf('O VALOR DO COEFICIENTE DE EFICÁCIA DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO ->  Cef = %6.2f \n', Cef);
fprintf('O VALOR DA VAZÃO VOUMÉTRICA NA ENTRADA DO COMPRESSOR -> Qe = %6.2f l/kg \n', Qe);
fprintf('O VALOR DA POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO -> PR = %6.2f \n', PR);
```

Simulação e comparação dos resultados

Para que a simulação possa ser realizada pelo código em *Matlab* deve-se entrar com algumas informações referentes às características do sistema de ar condicionado que se deseja implantar, são elas:

a) **TAXA DE REFRIGERAÇÃO**: valor desejado para que o sistema funcione de acordo com o ambiente onde será aplicado o condicionamento de ar.
b) **ENTALPIA DO VAPOR SATURADO**: esta informação deve ser obtida na tabela de vapor saturado referente ao ciclo de refrigeração do equipamento e de acordo com a temperatura de evaporação. A sigla utilizada para esta informação é Ha.
c) **ENTALPIA DO VAPOR SUPERAQUECIDO**: esta informação deve ser obtida na tabela de vapor superaquecido de acordo com a entropia do vapor saturado no ponto referente a vapor saturado e a pressão do liquido saturado no ponto de mesma denominação. A sigla utilizada para esta informação é Hb.
d) **ENTALPIA DO LÍQUIDO SATURADO:** esta informação deve ser obtida na tabela de líquido saturado considerando a mesma entalpia do líquido saturado. A sigla utilizada para esta informação é Hd.
e) **VOLUME ESPECÍFICO:** informação obtida na tabela referente ao ponto de vapor saturado.

Execução no *MATLAB* - Command Window

Cálculo das variáveis: vazão mássica, potência do compressor, coeficiente de eficácia e potência de refrigeração com a aplicação de uma taxa de refrigeração (Tr) no valor de 67,5 KW:

PROGRAMA PARA CÁLCULO DO COEFICIENTE DE EFICÁCIA E CONSEQUENTE POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO

ENTRE COM A TAXA DE REFRIGERAÇÃO: **67.5**

ENTRE COM A ENTALPIA DO VAPOR SATURADO – Ha: 397.5

ENTRE COM A ENTALPIA DO VAPOR SUPERAQUECIDO – Hb: 433

ENTRE COM A ENTALPIA DO LÍQUIDO SATURADO – Hd: 236.7

ENTRE COM O VALOR DO VOLUME ESPECÍFICO NO PONTO DE VAPOR SATURADO -> Vesp: 92.8

O VALOR DO EFEITO DE REFRIGERAÇÃO -> Er = 160.80 kJ/Kg

O VALOR DA VAZÃO MÁSSICA -> w = 0.42 kg/s

O VALOR DA POTÊNCIA DO COMPRESSOR -> Wsh = 14.90 kW

O VALOR DO COEFICIENTE DE EFICÁCIA DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO -> Cef = 4.53

O VALOR DA VAZÃO VOUMÉTRICA NA ENTRADA DO COMPRESSOR -> Qe = 38.96 l/kg

O VALOR DA POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO -> PR = 0.22

Cálculo das variáveis: vazão mássica, potência do compressor, coeficiente de eficácia e potência de refrigeração com a aplicação de uma taxa de refrigeração (Tr) no valor de 81,0 KW:

PROGRAMA PARA CÁLCULO DO COEFICIENTE DE EFICÁCIA E CONSEQUENTE POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO

ENTRE COM A TAXA DE REFRIGERAÇÃO: **81**

ENTRE COM A ENTALPIA DO VAPOR SATURADO – Há: 397.5

ENTRE COM A ENTALPIA DO VAPOR SUPERAQUECIDO – Hb: 433

ENTRE COM A ENTALPIA DO LÍQUIDO SATURADO – Hd: 236.7

ENTRE COM O VALOR DO VOLUME ESPECÍFICO NO PONTO DE VAPOR SATURADO -> Vesp: 92.8

O VALOR DO EFEITO DE REFRIGERAÇÃO -> Er = 160.80 kJ/Kg

O VALOR DA VAZÃO MÁSSICA -> w = 0.50 kg/s

O VALOR DA POTÊNCIA DO COMPRESSOR -> Wsh = 17.88 kW

O VALOR DO COEFICIENTE DE EFICÁCIA DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO -> Cef = 4.53

O VALOR DA VAZÃO VOUMÉTRICA NA ENTRADA DO COMPRESSOR -> Qe = 46.75 l/kg
O VALOR DA POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO -> PR = 0.22

Resultados

A tabela 1 abaixo mostra os resultados obtidos com as duas simulações realizadas, uma com a taxa de refrigeração (Tr) de 67,5 e outra com a taxa de refrigeração (Tr) de 81,0.

Tabela 1 – Demonstração dos resultados

	Tr = 67,5 kW	Tr = 81,0 kW
Vazão Mássica - w (kg/s)	0,42	0,5
Potência do Compressor - Wsh (kW)	14,9	17,88
Coeficiente de Eficácia - Cef	4,53	4,53
Vazão na Entrada do Compressor - Qe (ℓ/kg)	38,96	46,75
Potência de Refrigeração - PR	0,22	0,22

Conclusões

Fica demonstrado que a utilização da ferramenta *Matlab* é viável para elaboração do programa que representa o modelamento matemático para cálculo das variáveis envolvidas no dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar apresentando resultados expressivos e de forma bem clara para o usuário. Foi possível realizar a simulação e a comparação dos resultados, de forma simples e dinâmica, na qual os resultados deixam claro que com o aumento da taxa de refrigeração em 20% ocasionou aumentos proporcionais, que ficaram em torno de 19%, nas variáveis: vazão mássica, potência e vazão de entrada do compressor. É válido ressaltar também, que o coeficiente de eficácia e a potência de refrigeração não foram afetados pelo aumento da taxa de refrigeração nessa proporção. Durante a realização deste trabalho tornou-se possível a familiarização com conceitos importantes de modelagem matemática, modelagem no espaço de estados e controle de processos.

Referências bibliográficas

1 SIERRA, C., (2005) **Review on Computational Trust and Reputation Models. Artificial Intelligence Review**. ISSN: 0269-2821.
2 Creder, H., (1996) **Instalações de Ar Condicionado**, Livros Técnicos e Científicos Editora, 5ª Edição, Rio de Janeiro, RJ.
3 BOLZANI, C., (2004). **Residências Inteligentes**. São Paulo: Editora Livraria da Física. ISBN: 858832525X
4 VILANOVA, D., (2013). **Engenharia – Introdução à Computação e Noções Básicas**.
5 GILAT,A., (2012). **MATLAB com aplicações em engenharia**, Porto Alegre, Editora Bookman, ISBN: 9788540701878.