

CLIMAT – SOFTWARE INTELIGENTE PARA DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE CLIMATIZADORES DE AR

Kelly Christine Landolfi Bento

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR/CCET, Laboratório de Sistemas Térmicos
Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba – PR – 80215-901 – Brasil
kelly@ppgia.pucpr.br

Nathan Mendes

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR/CCET, Laboratório de Sistemas Térmicos
Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba – PR – 80215-901 – Brasil
nmendes@ccet.pucpr.br

Resumo: *A escolha certa de condicionadores de ar para proporcionar conforto térmico pode requerer considerável tempo e ser cansativa ou trabalhosa, haja vista a grande diversidade de variáveis e tipos de equipamentos. A indústria de condicionadores de ar tem desenvolvido programas computacionais para calcular cargas térmicas em edificações e que possibilitem também especificar equipamentos. Entretanto, os usuários destes softwares, precisam conhecer os equipamentos que poderão satisfazer alguns requisitos, como nível de ruído, espaço avaliado para passagem de dutos, taxas de eficiência energética e similares.*

Assim, o software Climat foi desenvolvido para ambos, calcular cargas térmicas para o dimensionamento de condicionadores de ar, bem como, para especificar o equipamento mais adequado de acordo com os requisitos determinados usando regras de Inteligência Artificial.

O Climat tem propósitos educacionais especialmente para estudantes de Engenharia Mecânica, com a visualização de processos psicrométricos, cálculo de níveis de conforto térmico e demanda energética em edificações. O software pode ser usado por Engenheiros Mecânicos, Físicos, Engenheiros Civis, Arquitetos e outros profissionais que trabalhem com análise de conforto térmico e eficiência energética em edificações.

Palavras-Chave: *Condicionadores de Ar, Sistema Especialista, Conforto Térmico.*

1. INTRODUÇÃO

A refrigeração e o condicionamento do ar surgiram devido a falta de controle da temperatura, umidade e concentração de poluentes, dentre outros. A aplicação mais disseminada é, sem dúvida, o condicionador de ar, embora outras áreas possam ser citadas em outras aplicações industriais, segundo Stoecker et al (1985).

O processo de condicionamento de ar tem como objetivo controlar a temperatura, umidade, pureza e distribuição de ar, no sentido de proporcionar maior conforto aos ocupantes de um determinado recinto climatizado. O condicionamento do ar também é indispensável em processos de manufatura que exijam um controle rigoroso da pureza do ar, umidade e temperatura, tais como os processos de produção de produtos farmacêuticos, alimentos, salas de desenho de precisão, etc (Stoecker, 1985).

Devido a essa grande diversidade de aplicações, existem também os mais variados tipos de equipamentos de climatização, que tendem a satisfazer estas aplicações, mas que dependem também de desafio técnico.

São utilizados hoje no mercado de condicionamento de ar uma ampla variedade de equipamentos. A escolha de um equipamento que atenda de forma otimizada às necessidades de

projeto é feita através da análise de vários parâmetros pertinentes a cada modelo de condicionador e ao ambiente de instalação.

Para facilitar todo processo de desenvolvimento de um projeto de condicionamento de ar, foi desenvolvido o software CLIMAT, com a capacidade de fornecer dados concretos sobre conforto térmico, além de informar os equipamentos que atendem às especificações e necessidades do ambiente e a melhor opção de equipamento, considerando os critérios de eficiência ou custo.

Este software foi desenvolvido utilizando técnicas de Inteligência Artificial que foram de fundamental importância para a determinação do equipamento mais adequado. Foi desenvolvido um Sistema Baseado em Conhecimentos, Sistema Especialista, para efetuar esta escolha.

2. SISTEMA ESPECIALISTA

Sistemas Especialistas são programas que imitam o comportamento de especialistas humanos. De acordo com Schildt et al (1989), os Sistemas Especialistas usam informação que o usuário fornece para emitir uma opinião sobre um certo assunto.

A vantagem de um Sistema Especialista está relacionada com as necessidades biológicas; ele não necessita de descanso ao contrário de um especialista humano.

Um Sistema Especialista está dividido basicamente em duas partes: base de conhecimentos, onde estão armazenadas as regras que serão informadas à máquina de inferência e máquina de inferência, propriamente dita, que é a parte que faz o sistema funcionar; é a máquina de inferência que lê as informações da base de conhecimentos e encontra o objeto mais apropriado.

Existem duas principais maneiras para construir uma máquina de inferência: encadeamento para frente e encadeamento para trás (Schildt,1989). Neste sistema foi usado o Método de Encadeamento para Trás, que consiste em escolher um objeto da base de conhecimentos e testar os seus atributos para aceitá-lo ou recusá-lo.

Um Sistema Especialista está dividido em 3 etapas: Aquisição do Conhecimento, Representação do Conhecimento e Implementação.

A fase de Aquisição do Conhecimento é a fase onde se extrai o conhecimento do especialista. Desde a sua extração, codificação e refinamento é um processo longo e às vezes dispendioso. Não há técnicas específicas para que o especialista descreva o seu conhecimento e muitos apresentam dificuldades ao descreverem seus próprios métodos e suas experiências, utilizados na solução dos problemas (Liebowitz,1989). Existem alguns métodos que auxiliam esse processo que é considerado o gargalo de um Sistema Especialista.

Neste sistema foram utilizados dois métodos: Entrevista, foram feitas algumas entrevistas com um especialista em condicionadores de ar, e Análise de Textos, que consiste na extração das informações através de consulta a livros e manuais, para obter-se todas as informações necessárias para a construção da base de conhecimentos.

A fase de Representação do Conhecimento é a fase onde se escolhe um método apropriado e monta-se a base de conhecimentos. Existem vários métodos que podem ser utilizados para fazer a representação, cuja escolha do método deve ser feita, considerando o tipo do conhecimento estudado (Liebowitz,1989).

No software Climat, foi utilizado o método de Regras de Produção que é um dos métodos mais utilizados nos Sistemas Especialistas em geral. Consiste em construir regras do tipo SE - ENTÃO. O interpretador percorre o lado esquerdo de cada regra até que o objetivo seja satisfeito. Um exemplo disto, pode ser dado pela utilização de equipamentos do tipo SPLIT, quando a carga térmica for, por exemplo, inferior a 5 TR's.

Após terminada as fases de Aquisição e Representação do Conhecimento, parte-se para a fase de Implementação onde são utilizadas todas as informações adquiridas até o momento.

A maioria dos Sistemas Especialistas utiliza a linguagem de programação Prolog, por ser uma linguagem mais apropriada para aplicações na área de Inteligência Artificial. O Climat, ao contrário da maioria, não pode ser desenvolvido nesta linguagem, pois é um software integrado com uma

parte de cálculos térmicos e gráficos que não são possíveis de serem feitos em Prolog; por esta razão optou-se pela linguagem C++, que é mais flexível para aplicações como esta.

3. CARACTERÍSTICAS

O objetivo principal deste software é propiciar de maneira rápida e clara, meios de análises de estratégias de climatização de ambientes e de avaliações das condições de conforto térmico de ambientes em situações reais. Estas análises visam redução de custos de projeto de um sistema de condicionamento de ar, com possibilidade de uma avaliação completa dos dados e também da escolha do equipamento mais adequado para o ambiente em avaliação através do Sistema Especialista integrado com o módulo carga térmica.

Uma das principais fontes de transferência de calor em um recinto é a sua estrutura (Stoecker, 1985). A transferência de calor devido a ganhos e perdas através das estruturas foi calculada utilizando-se o método CLTD/SCL/CLF da ASHRAE. O Cooling Load Temperature Difference/ Solar Cooling Load/ Cooling Load Factors é utilizado no cálculo da transferência de calor por condução através das paredes, piso, teto e vidros, considerando a transferência de calor devido a diferenças de temperatura e radiação solar de onda curta (ASHRAE,1997). Ainda leva-se em consideração, o tempo entre a incidência da radiação solar e o momento em que esta se transforma em carga térmica.

O Climat está dividido em 2 módulos:

- Climatização – que envolve toda a parte do dimensionamento, inclusive o sistema especialista.
- Psicrometria – que envolve o cálculo de Propriedades Psicrométricas e desenho da Carta Psicrométrica.

O módulo Climatização é o principal módulo do sistema, ele está dividido em 2 partes:

- Cálculo da Carga Térmica, onde é avaliado o conforto térmico e geração de energia interna, com levantamento da carga térmica do ambiente de estudo.
- Escolha do Equipamento, onde é sugerido um equipamento adequado para refrigerar ou aquecer este ambiente.

O módulo Psicrometria é também composto por 2 partes:

- Cálculo das Propriedades Psicrométricas, onde podem ser calculadas as propriedades do ar para o ambiente em análise.
- Desenho da Carta Psicrométrica, onde podem ser visualizadas as propriedades psicrométricas graficamente. A carta psicrométrica é desenhada de acordo com as equações para as propriedades psicrométricas, sendo necessário para isso refazer o gráfico para cada nova entrada de dados.

A Figura (1), mostra um exemplo de Carta Psicrométrica, obtida pelo Climat. Foram usados os seguintes dados para o cálculo desta carta psicrométrica:

- Faixa de Temperatura Positiva: Entre 0°C e 50°C.
- Pressão Atmosférica: Nível do Mar (101.325 kPa).

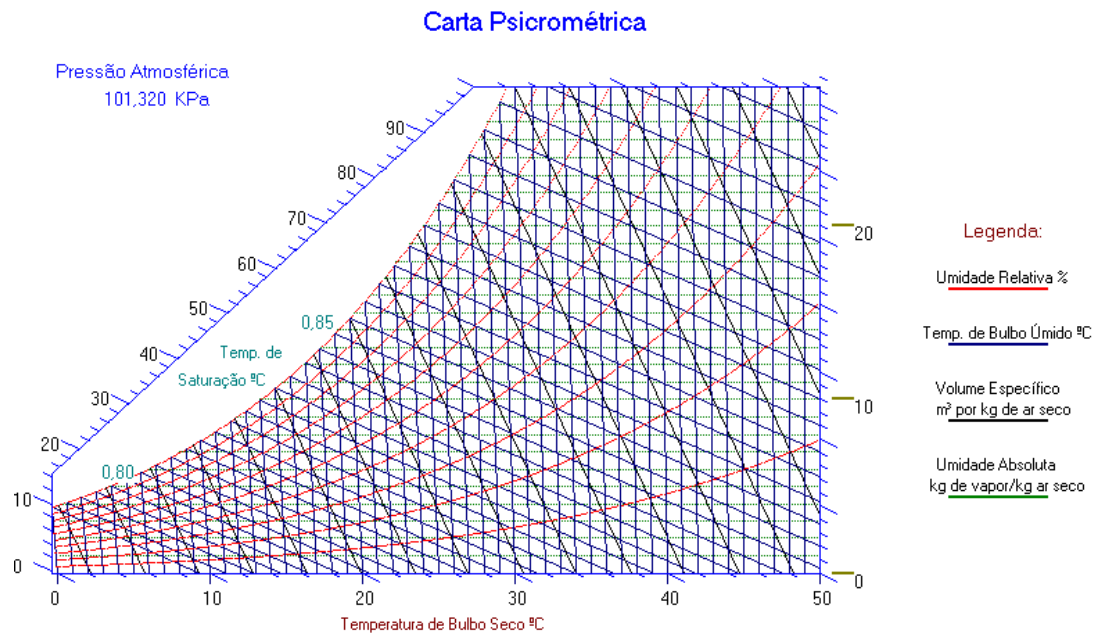


Figura 1. Tela Carta Psicrométrica do Climat.

4. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Para ilustrar o uso do programa, fez-se o dimensionamento e especificação de um equipamento para a cidade de Curitiba.

Foram considerados dois casos:

- Caso A, um ambiente apenas com suas características físicas, para validar o cálculo da Carga Térmica do Ambiente.
- Caso B, o mesmo ambiente, considerando a energia de pessoas e equipamentos pertencentes a ele, dimensionado o equipamento.

De acordo com as características do ambiente especificado, com base nas condições de temperatura e umidade da cidade de Curitiba, obtiveram-se os seguintes resultados para os dois casos.

Caso A – Cálculo de Carga Térmica

Características do ambiente analisado:

Cidade: Curitiba.

Área Total do Ambiente : 100 m²

Temperatura Interna: 24°C e 50%.

Atividade: Escritório.

Lâmpadas: Fluorescentes.

Teto:

Área Total: 25 m².

Material: Telhado com Laje.

Cor: Clara.

Paredes e Vidros:

1º Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.
Área : $12,5\text{m}^2$.
Orientação: Norte.
Com área envidraçada de $1,5\text{m}^2$ e sem cortinas.

2º Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.
Área : $12,5\text{m}^2$.
Orientação: Sul.
Sem área envidraçada.

3º Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.
Área : $12,5\text{m}^2$.
Orientação: Leste.
Sem área envidraçada.

4º Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.
Área : $12,5\text{m}^2$.
Orientação: Oeste.
Com área envidraçada de 2m^2 e sem cortinas.

Carga Térmica

Condições do Ar

Internas

Temperatura: 24 °C

Umidade: 50 %

Externas

Cidade: Curitiba

Ambiente

Área Total: 100 m²

Nº de pessoas: 0

Atividade: Escritório privado

Lâmpadas

☒ Fluorescentes

☐ Incandescentes

Equipamentos

Características

☒ Refrigeração ☐ Aquecimento

Área Sem Insolação

Teto

Área Total: 0 m²

Material: [Dropdown]

Vidros

Área Total: 0 m²

Paredes

Área Total: 0 m²

Material: [Dropdown]

Área Com Insolação

Teto

Área Total: 25 m²

Material: Telhado com laje

Cor: Claro

Paredes e Vidros

Número de Paredes: 4

Características

Calcular 22695,00 Btu/h **Continuar** **Fechar**

Figura 2. Tela Carga Térmica.

Foi considerado um ambiente sem uso de equipamentos e sem calor humano para o cálculo da carga térmica. Assim obteve-se o valor de 22695,00 Btu/h, conforme mostra na Figura (2).

Caso B: Cálculo de Carga Térmica e Dimensionamento de Condicionador de Ar.

Foi considerado o mesmo ambiente utilizado no caso A, com o acréscimo de algumas características:

Cidade: Curitiba.

Área Total do Ambiente : 100 m²

Temperatura Interna: 24°C e 50%.

Atividade: Escritório.

Lâmpadas: Fluorescentes.

Teto:

Área Total: 25 m².

Material: Telhado com Laje.

Cor: Clara.

Paredes e Vidros:

1° Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.

Área : 12,5m².

Orientação: Norte.

Com área envidraçada de 1,5m² e sem cortinas.

2° Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.

Área : 12,5 m².

Orientação: Sul.

Sem área envidraçada.

3° Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.

Área : 12,5m².

Orientação: Leste.

Sem área envidraçada.

4° Parede:

Material: Tijolo Comum de 15 cm e reboco.

Área : 12,5m².

Orientação: Oeste.

Com área envidraçada de 2m² e sem cortinas.

Número de Pessoas no ambiente: 10.

Equipamentos Ligados no ambiente: 10 microcomputadores e 2 impressoras.

Obteve-se, para este caso, o valor da carga térmica igual a 32120,00 Btu/h.

Para a especificação do condicionador de ar, o Climat solicita ao usuário que responda algumas características específicas do ambiente.

As seguintes informações foram fornecidas:

- Não poderia haver forro baixo e nem médio.
- Era necessário que o nível de ruído fosse baixo.
- Não era necessário colocar na parede, piso, janela ou equipamento embutido.
- Era necessário que fosse colocado no teto.

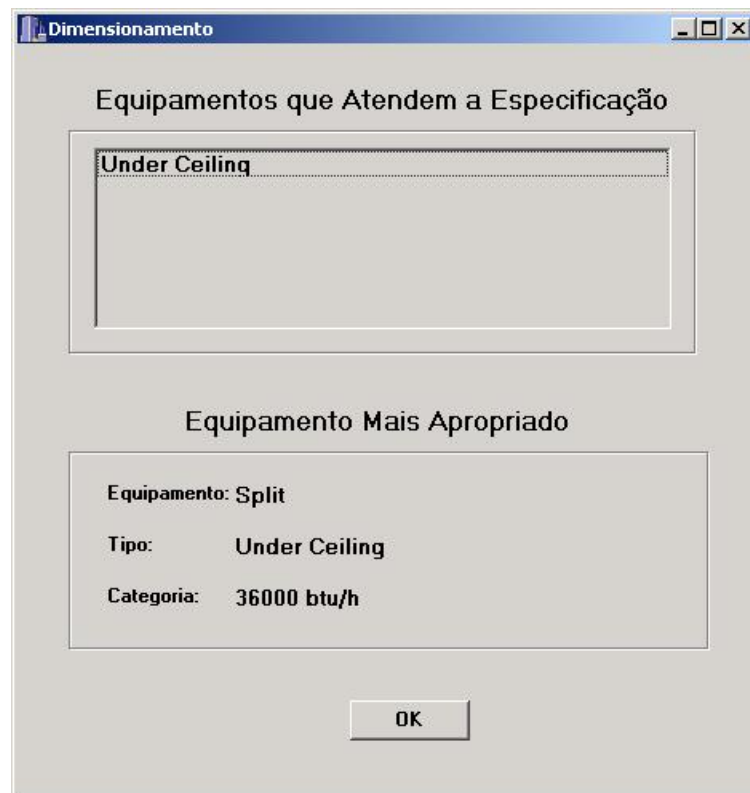


Figura 3. Tela Dimensionamento.

A resposta obtida foi a seguinte, conforme figura (3):

O Equipamento mais apropriado para o ambiente em questão é:

Equipamento: Split

Tipo: Under Ceiling

Categoria: 36000 Btu/h.

Para este caso, o software Climat, apresentou a possibilidade de condicionador de ar, que atendeu as respostas às perguntas específicas para o ambiente analisado. Ressaltando que este software apresenta sugestões para a especificação do condicionador de ar mais apropriado.

5. CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados e testes executados com o software Climat, obteve-se na maioria dos casos resultados satisfatórios, ou seja, que realmente atenderiam as especificações dos ambientes analisados, comparando os resultados obtidos com especificações feitas manualmente e validadas por especialistas em climatização.

Ao usar uma ferramenta como esta no momento do projeto, pode-se prever, possíveis problemas no momento da instalação de um equipamento, pois são analisadas as características específicas de cada ambiente, reduzindo assim custos ou uma possível troca de equipamento em virtude deste, não se adequar ao ambiente onde deveria ser colocado.

Didaticamente sendo utilizado, verificou-se que este sistema auxilia os alunos a entender mais claramente como calcular e dimensionar condicionadores de ar para um determinado ambiente, já praticando as possíveis variáveis que ele poderá enfrentar e verificando as soluções que poderão ser aplicadas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Ministério da Ciência e Tecnologia pelo suporte a este trabalho.

Agradecem também aos professores Robert Carlisle Burnett e Julio Cesar Nievola pelo tempo e dedicação dispensados e aos colaboradores que foram de fundamental importância para o desenvolvimento deste projeto: Marcos Domingues Mikos, Eng. Luís Carlos Moro Conforto, Eng. Luciano Amaury dos Santos, Eng. Rafael Milani, Eng. Heber Sanches.

7. REFERÊNCIAS

- ASHRAE, 1997, “American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering, Fundamentals and Equipment.”
- Jones, W.P., 1983, “Engenharia de Ar Condicionado”, Editora Campus.
- Lamberts, Roberto, 1997, “Eficiência Energética na Arquitetura”, PW Editores, São Paulo.
- Liebowitz, Jay, Salvo, Daniel A. De, 1989, “Structuring Expert Systems”, Prentice – Hall.
- Schildt, Herbert, 1989, “Inteligência Artificial Utilizando Linguagem C”, McGraw Hill, São Paulo.
- Stoecker W. F. e Jones J.W., 1985, “Refrigeração e Ar Condicionado”, Tradução José M.Saiz Jabardo, McGraw Hill do Brasil.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

CLIMAT – AN INTELLIGENT SOFTWARE FOR SIZING AND SPECIFICATION OF HVAC SYSTEMS

Kelly Christine Landolfi Bento

Pontifical Catholic University of Paraná – PUCPR/CCET, Thermal Systems Laboratory
Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba – PR – 80215-901 – Brazil
kelly@ppgia.pucpr.br

Nathan Mendes

Pontifical Catholic University of Paraná – PUCPR/CCET, Thermal Systems Laboratory
Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba – PR – 80215-901 – Brazil
nmendes@ccet.pucpr.br

Abstract: *The right choice of HVAC (Heating, Ventilation and Air conditioning) systems, to obtain thermal comfort, might have a considerable extension in time and be boresome or difficult since there are many input variables that should be taken into account and a great variety of equipment. Air Conditioning manufactures have been developed computer programs to calculate building thermal loads so that it is possible to make equipment specifications. However, software users must know what equipment would satisfy some requirements such as noise level, space available for ducts, energy efficiency rates and suchlike.*

Therefore, the software Climat has been developed to both calculate thermal loads for sizing of HVAC systems and specification of the right equipment accordingly with determined requirements by using rules of artificial intelligence.

Climat has educational purposes especially for students of Mechanical Engineering with visualization of psychrometrics processes and calculation of thermal comfort levels and building energy demand. The software can be used by Mechanical Engineers, Physicists, Civil Engineers, Architects and other professionals who work with thermal comfort and building energy analysis.

Keywords: *Air Conditioning, Expert Systems, Thermal Comfort*