

# EFICIÊNCIA ENERGÉTICA BASEADA NO CONTROLE DINÂMICO DO CONDICIONAMENTO DE AR

*Energy efficiency based on dynamic air conditioning control*

**Renan Lopes de Queiroz<sup>1</sup>**

**Vitor Hugort Luiz<sup>2</sup>**

**Renato Brito Sanchez<sup>3</sup>**

1. Aluno de Engenharia Controle e Automação

Faculdade ENIAC

renan.queiroz@live.com

2. Aluno de Engenharia Mecatrônica

Faculdade ENIAC

vitor.hugot@eniac.edu.br

3. Mestre em Engenharia Mecânica – Fundação Inaciana Pe. José Sabóia (FEI)

renato.brito@eniac.edu.br

---

## RESUMO

Este trabalho propõe um estudo para sistemas de condicionamento de ar com possibilidade de implantar um controle dinâmico nestes sistemas através da elaboração de um modelo teórico para simulação com a plataforma *Matlab / Simulink* e o estudo de caso em um ambiente real com a coleta de dados por meio de instrumentação com medidores de energia, termômetros e câmera termográfica. A análise do sistema energético de um ambiente ou processo nos permite identificar a demanda de energia e consumo em função das fontes geradoras de contaminantes e perdas mecânicas e elétricas, logo é fato que em uma análise detalhada seja possível identificar e simular um modelo de controle dinâmico para minimizar as perdas e alcançar a melhor eficiência, consequentemente a redução do consumo das fontes de energia. Os dados serão obtidos do sistema real e simulados no modelo gerado para confrontar situação de erro e curvas de eficiência. Como resultado da aplicação do controle dinâmico no sistema de condicionamento de ar que se obtenha uma redução do consumo de energia elétrica de forma a manter o conforto térmico determinado por norma técnica e padrões de segurança ao longo da ocupação do ambiente até sua completa utilização.

**Palavras-Chave:** Condicionamento de ar; Controle dinâmico; Eficiência energética.

## ABSTRACT

This work proposes a study for air conditioning systems with the possibility of implementing a dynamic

control in these systems through the elaboration of a theoretical model for simulation with the *Matlab / Simulink* platform and the case study in a real environment with the collection of data by Means of instrumentation with energy meters, thermometers and thermographic camera. The analysis of the energy system of an environment or process allows us to identify the energy and consumption demand as a function of the sources of contaminants and mechanical and electrical losses, so it is a fact that in a detailed analysis it is possible to identify and simulate a dynamic control model To minimize losses and achieve the best efficiency, consequently reducing the consumption of energy sources. The data will be obtained from the real system and simulated in the model generated to confront error situation and efficiency curves. As a result of the application of the dynamic control in the air conditioning system to obtain a reduction of the electric energy consumption in order to maintain the thermal comfort determined by technical standard and safety standards throughout the occupation of the environment until its complete use.

**Key-words:** Air conditioning; Dynamic control; Energy efficiency.

## INTRODUÇÃO

O mundo enfrenta diversos desafios no que diz respeito a garantir um desenvolvimento baseado em medidas que visem ao abastecimento energético sustentável, otimizando o uso dos recursos naturais. (INATOMI, 2012).

Condicionamento de ar envolve não apenas o controle de temperatura, mas também o controle de umidade e contaminantes e trata de sistemas importantes para os processos atuais, pois são responsáveis por manter o conforme térmico e regular o ar ambiente principalmente onde há fontes geradoras de calor, que conforme referenciado pelo INEE que são expressivas como a aplicação em *datacenter*, CPD, indústria cinematográfica, indústria e ambientes fechados com grande estadia de pessoas o que produz uma grande quantidade de calor sensível.

Os controles atuais fazem previsão a sistemas com uma faixa de variação aceitável da fonte de calor, porém não compreendem o início de operação destes sistemas ou uma taxa de ocupação inicial em 0.

Existem diversos tipos de condicionadores de ar, sendo eles o (C.A.J) Condicionador de Ar tipo Janela, condicionador (*SPLIT SYSTEM*) do inglês sistema separado, torre de resfriamento e *Water Chiller*. O engenheiro inventor do condicionamento de ar, Willis Haviland Carrier em 17 de julho de 1902, ao tentar resolver um problema de qualidade existente na *Lithographing Sackett-Wilhelms & Publishing Company of Brooklyn*, apresentou seus

desenhos que se tornariam mais tarde o sistema de ar condicionado conhecido hoje.

O predecessor dos condicionadores de ar e mais conhecido é o (C.A.J) tipo janela devido grande aplicação e ainda é usado até hoje. Algumas de suas características são estrutura composta por condensadora e evaporadora em uma mesma unidade. Tem como vantagem o baixo custo, manutenção, instalação além de efetua renovação do ar e está disponível nas duas tensões. Porém suas desvantagens são menor economia, maior ruído e menor conforto térmico.

Condicionamento de ar (*SLIP SYSTEM*) do tipo sistema separado, onde a estrutura possui unidades de trabalho independentes, a interna chamada de evaporadora e a externa de condensadora. Tem como vantagem potências até 30.000 BTU, estabilidade na temperatura e com pouco ruído, dentre as categorias de condicionamento de ar, este é o que tem maior economia energética. Já suas desvantagens ficam em não efetuar a renovação do ar, em alguns prédios não é permitido devido alteração de fachada, e está disponível em sua grande maioria com tensão de 220V.

Dentre os condicionamentos de ar anteriores sua aplicação é mais vista em residências e prédios.

Já o condicionamento de ar do tipo torres de resfriamento, são equipamentos utilizados para o resfriamento de água. Esta água seria aquela proveniente do resfriamento de condensadores de usinas de geração de potência, de instalações de refrigeração, trocadores de calor, etc. A água que realizou o resfriamento destes equipamentos torna-se, então, quente. Para resfriá-la (e assim poder usa-la de novo para tais processos) utilizamos as torres de resfriamento.

Dentre os modos conhecidos de tiragem temos o de torre de resfriamento por tiragem natural o de tiragem mecânica, induzida e forçada. Existe uma classificação de torres de resfriamento quando ao seu método de transferência de calor. Elas podem ser secas, úmidas ou mistas. Quando falamos da troca de calor seca (ou também chamado de circuito de sistema fechado pelo fato do fluido a ser refrigerado permanecer em sistema fechado), não há contato direto entre os dois fluidos, eles trocam calor por meio de uma superfície. Nas trocas úmidas há o contato direto dos fluidos (também chamado de sistema aberto). Esse sistema de troca úmida utiliza o princípio do resfriamento

evaporativo (responsável pela maior parte da troca de calor). No tipo misto ou híbrido (também chamado de circuito fechado por não envolver contato com o fluido a ser refrigerado) o processo é semelhante ao sistema seco, porém há a aplicação de água (de outra fonte) nos trocadores de calor para se utilizar o princípio do resfriamento evaporativo.

O condicionamento de ar do tipo *WATER CHILLERS* é, basicamente, resfriadores de água. A diferença entre eles e as torres de resfriamento é que a variação de temperatura no *watter chiller* é maior. A água gelada produzida por eles é utilizada com o objetivo de arrefecer o ar, produtos ou equipamentos conforme necessidade. Os *chillers*, que tem a potência medida em toneladas de refrigeração (TR), são capazes de trabalhar com uma grande variação de temperatura, podendo até ser negativa quando utilizados aditivos. Junto a equipamentos de ar-condicionado, como o *Fancoil*, o *Chiller* proporciona a climatização de ambientes, permitindo o controle da temperatura e da umidade relativa, movimentação, filtragem e renovação do ar.

Os *Chillers* também podem ser utilizados em uma ampla gama de indústrias para atender a processos de

resfriamento, controlado de produtos, mecanismos e máquinas em geral. Para eventos e indústrias em grandes áreas ou que necessitam de refrigeração em diversos pontos distantes uns dos outros. Podem ser utilizados, também, dutos de distribuição interna para melhor atender as áreas internas.

Os equipamentos tipo *Chillers* são muito flexíveis quanto à instalação, mas são de grande porte e necessitam de transporte especializado. O *Chiller* é eficiente, durável e tem ótimo custo-benefício. Sua estrutura é feita de chapa de aço, quimicamente tratada, pintura eletrostática com pó epóxi, peças internas de chapa de aço galvanizada e com potências que vão de 40 (TR), 110(TR), 162(TR) e 250(TR).

É amplamente indicado para uso em indústrias alimentícias, projetos do governo, indústrias farmacêuticas, indústrias do petróleo e gás, petroquímicos e refinarias, hospitais, indústrias químicas, aeroportos, shopping, estações de metrô, mineração e tunelamento, equipamentos de telecomunicações e locais da torre de controle das células e etc.

## 1. TEMA 1: EXEMPLO

Aqui deverão ser inseridos os temas relativos ao referencial teórico que considerar relevante.

Deverão ser inseridos com numeração sequencial.

## 2. TEMA 2: EXEMPLO

Exemplo sequencial dos temas abordados no artigos.

Devera ser formatada com fonte Times New Roman, tamanho 12, espaçamento entre linhas de 1,5 e recuo para início de parágrafo em 1,25, justificado.

## 3. MÉTODO OU METODOLOGIA

A metodologia que será adotada, dentre os tipos e modelos de condicionamento de ar listados acima, será avaliado três residências e três prédios comerciais para levantamento de dados, que evidenciado por CARDOSO, 2013 a automação residencial predial contribui em larga escala para eficiência energética, portanto a falta de controle dinâmico faz com que estes sistemas operem em sua capacidade máxima mesmo com as fontes geradores de calor dissipando pouca energia, logo haverá uma sensação de frio que poderá gerar desconforto térmico.

Portanto a metodologia proposta neste trabalho possui duas partes. Uma dedicada à identificação do problema de falta de controle no condicionamento de

ar e outra dedicada ao estudo dos sistemas e métodos para um controle eficiente.

Para o estudo do problema e avaliação do controle ativo de condicionamento de ar está definida a aplicação em um ambiente real, o qual é representado por modelo simplificado que representa a dinâmica do controle de condicionamento de ar em ambiente fechado, sendo este avaliado e escolhido como primeira etapa deste projeto de pesquisa, dado que para uma comparação de dados a fim de se comprovar a efetividade do controle ativo é dispensável a análise sobre um modelo empírico o qual não traduz todas as variáveis de processo com fidelidade.

Após modelo será implantado para o sistema uma operação automática onde há a necessidade interfaces e equipamentos eletrônicos para controlar o sistema de potência para HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), onde para aplicação se faz necessário à utilização de instrumentação específica para monitoramento e análise do sistema e formulação do problema.

A avaliação dos dados determina o resultado qualitativo do controle ativo e dinâmico na eficiência do condicionamento de ar,

consequentemente menor consumo de energia elétrica no sistema.

#### 4. RESULTADOS

Através de pesquisas realizadas com condicionamento de ar, onde podemos exemplificar que um aparelho de ar condicionado resfria e ventila.

É fato que o condicionador de ar trabalha de forma que necessita estar acionado para refrigerar o ambiente, enquanto que na etapa de ventilação permanece em modo de repouso até que a diferença de temperatura seja identificada e o ciclo inicie novamente. Portanto, é evidente a necessidade de um sistema de controle dinâmico onde controle com precisão a variação gradativa de temperatura. Com base nesta análise é notável que há uma eficiência energética efetiva, pois é possível, à princípio, prever empiricamente a redução do consumo energético na instalação elétrica.

Nesse trabalho foi cumprido o objetivo proposto que realizar a modelagem de um sistema de condicionamento de ar controlado por controlador PID, usando técnicas de modelagem matemática e simulações a fim de obter resultados de controle de temperatura satisfatórios. De acordo

com as análises realizadas, ensaios e testes no sistema de controle PID, conclui-se que o aumento da temperatura da planta em relação ao tempo que varia, de acordo com os parâmetros estipulados nos valores de  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_D$ .

Logo após conseguirmos um valor para o ganho proporcional, começamos a inserir valores no ganho integral, iniciamos com valores baixos, no primeiro valor já notamos que ocorreu uma amortização no senoide, assim deu a entender que o ganho integral funciona como um freio para o proporcional, evitando que o sinal de saída dispare e assim ultrapassando muito o *set-point*. Ao chegar a valores ideais dos ganhos proporcionais e integrais, já era possível ter um controle muito próximo do estável, assim deduzimos que dependendo da tolerância do processo, apenas esses dois ganhos já atendem em relação ao controle.

Em seguida aplicamos valores do ganho derivativo, aos pilotos alguns valores, não observamos muitas diferenças, quando lançamos valores baixos houve uma pequena melhora no resultado, com isso após algumas tentativas chegamos a um sinal de saída ideal, ou seja, que estabilizasse mais rápido, então percebemos que o ganho

derivativo é um ajuste fino, onde ele antecipa o mínimo de desvio.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além do entendimento de controle PID, foram ampliados os conhecimentos nas áreas de Termodinâmica, onde foi visto a sua importância e versatilidade, porque pode ser vista na indústria, transporte e residência.

Foi utilizado também, todos os conceitos adquiridos com relação à parte de modelagem, ensaios e simulações. É de se destacar a versatilidade do software MATLAB, pois com ele, tem-se a possibilidade de poder ensaiar futuros projetos para sistemas de controle, por exemplo, sejam eles mecânicos ou elétricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, André Rafael, BARRETO, Livia Petrechi e MACHADO, Tiago. **Melhoria da eficiência energética em edificações residenciais utilizando automação residencial**. 2013. 100f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba, 2013. Disponível em: <[http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc/equipe/2012\\_2\\_27/2012\\_2\\_27\\_monografia.pdf](http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc/equipe/2012_2_27/2012_2_27_monografia.pdf)>. Acessado em: 2016-08-22.

INATOMI, Thais Aya Hassan. **Análise da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar com**

**distribuição pelo piso em ambiente de escritório, na cidade de São Paulo, utilizando o modelo computacional Energyplus.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-07102008-110310/>>.

Acesso em: 2016-08-21.

INEE, **Instituto Nacional de Eficiência Energética.** Conceito. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/eficiencia\\_o\\_que\\_eh.asp?Cat=eficiencia](http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia)>. Acessado em: 2016-08-21.

[4] SILVA, José Cardoso e Silva, Ana Cristina G. Castro. **Refrigeração e Climatização para técnicos e engenheiros.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2007.

MILLER, REX. **Ar condicionado e Refrigeração** / Rex Miller, Mark R. Miller; tradução Alberto Hernandez Neto, Arlindo Tribess, Flávio Augusto Sanzovo Fiorelli. -2.ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2014.

[6] DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Modernos.** 11ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MAYA, P. A.; LEONARDI, F. **Controle essencial.** São Paulo: Pearson, 2011.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; MUNSON, B. R.; DEWITT, D. P. **Introdução à engenharia de sistemas térmicos: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno.** 4ª ed.rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

apresentado todo o material elaborado pelo autor ou autores e citado no artigo.

Não possui numeração sequencial e as citações deverão estar conforme diretrizes orientativas disponibilizadas pelo NUPE – Núcleo de Pesquisa ENIAC.

## ANEXOS

Este título é opcional para a elaboração do artigo, sendo aqui apresentado todo o utilizado de não autoria do autor ou autores e citado no artigo.

Não possui numeração sequencial e as citações deverão estar conforme diretrizes orientativas disponibilizadas pelo NUPE – Núcleo de Pesquisa ENIAC.

Os textos deverão ser formatados com fonte Times New Roman, tamanho 12, espaçamento simples entre linhas, sem recuo para início de parágrafo, justificado.

## APÊNDICES

Este título é opcional para a elaboração do artigo, sendo aqui