ISSN:2594-6153

# Autoirrigação em Sistemas de Climatização

Leonardo Lopes de Oliveira[1], Marco Aurélio Pereira Lemes[2], Wellington Silva Biserra, Sergio Luiz da Conceição Matos, João Inácio da Silva Filho[1]

[1] Unisanta -Universidade Santa Cecília - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEMec - Stricto Sensu, Santos-SP, Brasil
[2] SENAI - Faculdade de Tecnologia, Santos-SP, Brasil

E-mail: leolopes153@gmail.com

**Resumo:** O objetivo deste artigo é demonstrar como reutilizar a água condensada no evaporador dos sistemas de climatização para auxiliar no resfriamento do condensador, podendo aumentar em 22% o coeficiente de desempenho do sistema. A representação é feita através do diagrama de Mollier. Também será demonstrado como o projeto proposto neste artigo deve ser aplicado na prática, reutilizando a água de modo consciente e eficaz, melhorando a condição de funcionamento dos equipamentos e economizando energia, bem como obtendo menos esforço de trabalho do compressor e potencializando a troca de calor, através da água do sistema de drenagem que é desperdiçada na maioria dos sistemas de climatização.
**Palavras-chave:** Diagrama de Mollier; Refrigeração; Eficiência energética; Termodinâmica; Condutibilidade térmica.

## Self-irrigation in Air Conditioning Systems

**Abstract:** The aim of this paper is to demonstrate how the condensate water from the evaporator of air conditioning systems can be reused to assist in cooling the condenser, potentially increasing the system's coefficient of performance (COP) by up to 22%. The representation is made using the Mollier diagram. This paper also presents how the proposed design can be practically implemented, promoting the conscious and efficient reuse of water, improving equipment operating conditions, saving energy, reducing compressor workload, and enhancing heat exchange by utilizing the drainage water that is commonly wasted in most air conditioning systems.
**Keywords:** Mollier diagram; Refrigeration; Energy Efficiency; Thermodynamics; Thermal Conductivity.

## Introdução

Este estudo foi realizado com o propósito de solucionar problemas operacionais enfrentados por condicionadores de ar que funcionam com resfriamento por convecção forçada do ar em ambientes com temperaturas externas elevadas, condições essas que comprometem o desempenho desses equipamentos. A proposta consiste no reaproveitamento da água proveniente dos drenos dos sistemas de climatização, que gera

em média 20 litros por dia [1]. Promovendo a melhoria da eficiência energética, economia de energia e sustentabilidade, ao mesmo tempo em que se utiliza um recurso normalmente desperdiçado para otimizar o funcionamento dos equipamentos. Em edifícios comerciais, os sistemas de climatização podem representar entre 30% e 40% do consumo total de energia elétrica[1].

Muitos modelos de condicionadores de ar utilizam sistemas de resfriamento do fluido refrigerante por convecção forçada do ar. Nesse processo, o ar é forçado a atravessar as aletas da serpentina do condensador, promovendo a troca térmica entre o ar e o fluido refrigerante, resultando na redução da sua temperatura. Para que esse processo ocorra de forma eficiente, o ambiente onde o condensador está instalado e que serve como meio de rejeição de calor deve apresentar temperatura inferior à do fluido refrigerante a ser condensado. Um grande desafio é  a busca contínua por fluidos refrigerantes mais eficientes e menos nocivos ao meio ambiente [2].

A **Figura 1** representa uma ilustração esquemática do projeto proposto aplicado a uma edificação, diante do atual cenário de necessidade por soluções sustentáveis e construções saudáveis é proposto [3]

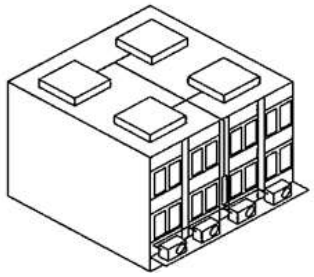


**Figura 1.** Ilustração do projeto de autoirrigação aplicado à edificação ilustrando o sistema de drenagem conectado a um reservatório discreto vertical automatizado acima dos condensadores.

**Objetivos**

O objetivo desse artigo é demonstrar cientificamente, por meio do diagrama de Mollier, a vantagem energética em reaproveitar a água condensada no evaporador para auxiliar o resfriamento do fluído refrigerante por meio da irrigação automatizada do condensador, bem como também mostrar como o projeto proposto neste artigo será na prática.

## Material e Métodos

Foi utilizado um borrifador acionado por um temporizador com duração de um minuto de acionamento, borrifando aproximadamente 540 ml de água no condensador.

A temperatura ambiente e da água eram iguais a 26,5 ºC, foram registrados, com o termômetro coberto por isolação térmica para preservar a temperatura real da tubulação, os pontos de verificação do sistema: entrada e saída do evaporador para medir o superaquecimento do fluido antes e depois do ponto de saturação no evaporador; e entrada e saída do condensador para medir o subresfriamento do fluido antes e depois do ponto de saturação para condensar. Esses dados também revelam as temperaturas de entrada e saída do compressor e do dispositivo de expansão fundamentais para o circuito frigorífico.

Com o manômetro, foi medida a temperatura de evaporação e de condensação do sistema, ou seja, a temperatura de saturação do fluído refrigerante, na qual a troca de calor não gera mudança de temperatura, apenas mudança de estado da matéria.

## Resultados

A **Tabela 1** apresenta os dados do circuito frigorifico sem autoirrigação.

**Tabela 1** – Dados medidos com o termômetro no circuito frigorifico sem o Sistema de autoirrigação

| | |
|---|---|
| 1) Saída do evaporador | 22°C |
| 2) Entrada do Condensador | 89°C |
| 3) Saída do Condensador | 31,1°C |
| 4) Entrada do Evaporador | 5,7°C |
| Temperatura de Insuflação | 20,3°C |

| Dados manométricos baixa pressão | |
|---|---|
| Temperatura de Evaporação | - 4°C |
| Pressão de Evaporação | 50 PSI |
| **Dados manométricos alta pressão** | |
| Temperatura de Condensação | 55°C |
| Pressão de Condensação | 295 PSI |

A **Tabela 2** exibe os dados do sistema frigorifico com auto irrigação.

**Tabela 2** – Dados medidos com o termômetro no circuito frigorifico sem o Sistema de auto irrigação

| | |
|---|---|
| Temperatura da água | 26,5°C |
| 1) Saída do evaporador | 22°C |
| 2) Entrada do Condensador | 85,5°C |
| 3) Saída do Condensador | 26.7°C |
| 4) Entrada do Evaporador | - 0,5°C |
| Temperatura de Insuflação | 20,3°C |

| Dados manométricos baixa pressão | |
|---|---|
| Temperatura de Evaporação | - 10°C |
| Pressão de Evaporação | 40 PSI |
| **Dados Manométricos Alta pressão** | |
| Temperatura de Condensação | 42°C |
| Pressão de Condensação | 220 PSI |

**Discussão**

Baseado nas **Tabelas 1 e 2**, podemos traçar os gráficos PH (pressão e entalpia) do fluído refrigerante R-22 clorodifluormetano $CHClF_2$ [4] para as duas condições propostas.

O **Gráfico 1** exibido pela **Figura 2** apresenta as informações de tendências do sistema sem o recurso de auto-irrigação, enquanto o **Gráfico 2** exibido na **Figura 3** apresenta o impacto causado no sistema quanto ao uso da auto-irrigação.

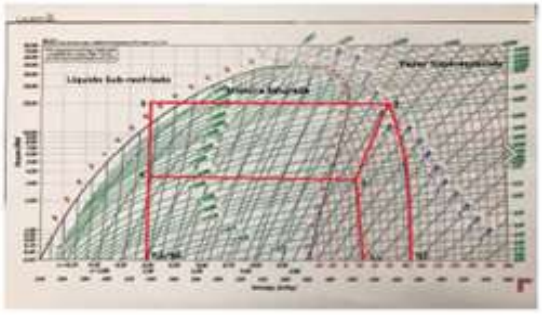


**Figura 2**. Gráfico 1 PH (Pressão e entalpia) Tênddência do Sistema somente por convecção sem auto-irrigação

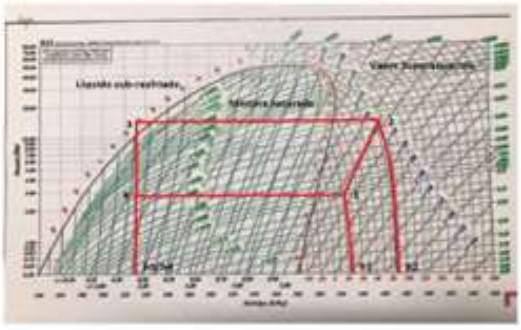


**Figura 3**. Gráfico 2 PH (Pressão e entalpia) Tênddência do Sistema por convecção e com auto-irrigação

Os cálculos da **Figura 4** , através dos valores de pressão e entalpia retirados dos **gráficos PH 1** e **2**, demonstram a eficiência através do coeficiente de *performance* do sistema de 24Kbtu/h sem auto-irrigação (A) e o ganha de eficiência no sistema com auto-irrigação (B).

A)Sem auto-irrigação

$$Qevap = mx\,(h1-h4)$$
$$7{,}0337057kj/s = mx\,(439kj/kg - 240kj/kg)$$
$$m = 7{,}033kj/s \,/\, 199kj/kg$$
$$m = 0{,}035kg/s$$
$$Wcomp = mx\,(h2-h1)$$
$$Wcomp = 0{,}035kg/sx\,(489{,}25kj/kg - 439kj/kg)$$
$$Wcomp = 0{,}035kg/sx\;50{,}25kj/kg$$
$$Wcomp = 1{,}758kj/s$$
$$Qcond = mx\,(h2-h3)$$
$$Qcond = 0{,}035kg/sx\,(489{,}25kj/kg - 240kj/kg)$$
$$Qcond = 0{,}035kg/sx\;249{,}25kj/kg$$
$$Qcond = 8{,}723kj/s$$
$$Expansão$$
$$H3 = H4$$
$$240kj/kg = 240kj/kg$$
$$240$$
$$Cop = Qev/Wc$$
$$Cop = 7{,}033kj/s \,/\, 1{,}758kj/s$$
$$Cop = 4$$

B) Com auto-irrigação

$$Qevap = m\,x\,(h1-h4)$$
$$7{,}0337057kj/s = m\,x\,(442{,}525kj/kg - 230kj/kg)$$
$$m = 7{,}033kj/s \,/\, 212{,}525kj/kg$$
$$m = 0{,}033kg/s$$
$$Wcomp = m\,x\,(h2-h1)$$
$$Wcomp = 0{,}033kg/s\,x\,(486kj/kg - 442{,}525kj/kg)$$
$$Wcomp = 0{,}033kg/s\,x\;43{,}475kj/kg$$
$$Wcomp = 1{,}43kj/s$$
$$Qcond = m\,x\,(h2-h3)$$
$$Qcond = 0{,}033kg/s\,x\,(486kj/kg - 230kj/kg)$$
$$Qcond = 0{,}033kg/s\,x\;256kj/kg$$
$$Qcond = 8{,}448kj/s$$
$$Expansão$$
$$H3 = H4$$
$$235kj/kg = 235kj/kg$$
$$230kj/kg$$
$$Cop = Qev/Wc$$
$$Cop = 7{,}033kj/s \,/\, 1{,}43kj/s$$
$$Cop = 4{,}918$$

**Figura 4**. Análise Termodinâmica por balanço de energia em circuitos frigoríficos sendo m: Vazão mássica de fluído refrigerante em kg/s , Qevap: Calor retirado pelo evaporador kj/s, Qcond: Calor cedido pelo

condensador kj/s, Wcomp: Trabalho realizado pelo compressor kj/s, Cop: Coeficiente de desempenho do sistema (A) somente por convecção e (B) convecção e auto-irrigação.

Por meio do teorema de Mollier, foi demonstrado que o procedimento de auto-irrigação dos condicionadores de ar proporcionou a melhora do coeficiente de desempenho dos equipamentos, economizando energia com menor esforço para realizar o seu trabalho.

Pelos dados obtidos, foi possível determinar os seguintes pontos importantes:

1. A linha horizontal do ponto 1(h1), mostrado no **Gráfico 2** da **Figura 3**, do sistema com auto-irrigação deverá estar mais longe do ponto final de saturação do que o ponto 1 (h1) **Gráfico 1** da **Figura 2** apenas por convecção, uma vez que o fluído refrigerante estará em um estado mais confiável, de completo vapor, melhorando a confiabilidade do sistema prevenindo que o fluído adentre no estado líquido na câmara de compressão.
2. O sistema com auto irrigação demonstrou ser mais eficiente porque fornece mais resfriamento por menos unidade de trabalho do compressor Qev/Wc.
3. Olhando para a linha dos pontos h1-h4 que representa a linha de saturação e evaporação do fluído, que é usado na formula para a calcular a vazão massica do sistema , podemos observar que a melhora de eficiência no processo de evaporação faz o fluído ganhar calor expandir e diminuir o seu peso por segundo , o que em seguida vai proporcionar um menor esforço no compressor para realizar o deslocamento volumétrico do fluído.

**Conclusão**

O estudo demonstrou um aumento no COP (Coeficiente de Performance) do sistema de 0,918, representando uma melhoria de 22% na eficiência energética. Este ganho influencia diretamente na redução do esforço do sistema para realizar o trabalho.

**Agradecimentos:** Os autores gostariam de agradecer o apoio do grupo CESARI, Faculdade SENAI de Santos e a UNISANTA.

**Referências**

1. ABRAVA (São Paulo). O uso do ar-condicionado e o consumo de energia elétrica. Disponível em: <https://abrava.com.br/o-uso-do-ar-condicionado-e-o-consumo-de-energiaeletricaabrava/>. Acesso em: 09 set. 2019.
2. WIDODO, W.; SYAFRIZAL, S.; TUVANA, A. I.; SUBEKTI, M. I.; NULHAKIM, L. Performance analysis of R290 as a substitute for R404A on 12,000 Btuh cold storage capacity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Bristol, v. 1098, n. 6, p. 062109, mar. 2021.

3. LEŠINSKIS, Arturs; STRAUTS, Uldis; METĀLS, Mārtiņš; AFOŅIČEVS, Viktors; . MILLERS, Renārs. *Ventilation and air conditioning design approach based on ASHRAE psychrometric chart and Mollier diagram*. Frontiers in Built Environment, [S.l.], v. 10, 2024.

4. DOSSAT, Roy J.. Princípios de refrigeração. Houston: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

Jesué Graciliano da. Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2003. 219 p.