



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIADOR E UMIDIFICADOR DE AR DE BAIXO CUSTO

T. S. NUNES¹ ; D.M.FERNANDES¹

¹Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de resfriador e umidificador de ar para moradores de uma residência e verificar o seu baixo custo de produção e operação quando comparado a um ar condicionado e um ventilador de teto. Foram realizadas a análise de custo do projeto, relação no consumo de energia, comparando-o ao uso de ar condicionado e ventilador de teto no mesmo tempo de funcionamento, a relação umidade antes e após funcionamento, além da variação de temperatura do ambiente climatizado.

1. INTRODUÇÃO

O clima tem se mostrado, desde a Antiguidade, como um dos elementos-chave no projeto e construção do habitat do homem. Hoje depois de um longo período no qual a situação climática, devido principalmente aos aumentos de temperaturas foi ignorada, fazem-se necessários estudos acerca de mecanismos para diminuir a temperatura média global. Este aumento deve-se também ao aumento da densidade demográfica e o consequente aumento do consumo energético (CUNHA, 2006).

O aumento do consumo de energia elétrica tem provocado a construção de mais usinas hidrelétricas. Elas não poluem o ar, mas causam enormes impactos ambientais, em virtude da quantidade de água represada a fim de mover as turbinas na produção da energia elétrica. Uma alternativa seria a construção de usinas nucleares, mas elas produzem um lixo radioativo que deve ser armazenado em locais remotos, podendo causar catástrofes (como em Chernobyl). A energia eólica vem sendo implantada, sendo considerada uma energia limpa e renovável, apesar de ainda representar um alto custo. (CUNHA, 2006).

Nesse sentido, a busca por fontes de energia renováveis tem ganhado destaque, sobretudo pelo fato de tratar-se de energias de menores impactos ambientais, quando comparadas às energias não renováveis, apesar de ainda representarem uma parcela menor em seu uso. No Brasil, as fontes renováveis representam cerca de 41,2% das fontes de energia, enquanto que a média mundial é em torno de 13,8%. (BEN, 2017)

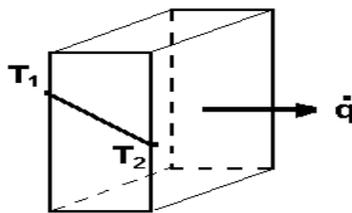
Mesmo com essa possibilidade de um uso maior de fontes renováveis de energia, sobretudo por apresentar vantagens como bom clima, solo e vasta extensão territorial, quando comparado ao restante do mundo, necessita-se de estudos para melhoria da qualidade dos equipamentos já existentes, sobretudo, os que demandam um gasto energético maior, como o ar condicionado, que

tem atualmente o seu uso exacerbado, devido ao aumento da temperatura média anual. O sistema de funcionamento do equipamento de ar condicionado baseia-se na transferência de calor e massa. A Transferência de Calor é a energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios ocorrerá transferência de calor. (INCROPERA, 2013).

Existem diversos mecanismos os quais o calor pode ser transferido. São eles:

1) Condução: este pode ser um sólido ou um fluido, em virtude de um gradiente de temperatura, usamos o termo transferência de calor por condução. A figura 1 ilustra a transferência de calor por condução através de uma parede sólida submetida à uma diferença de temperatura entre suas faces (INCROPERA, 2013).

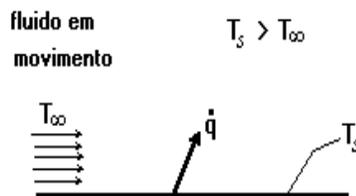
Figura 1: Transferência de calor por condução em meio estacionário



Fonte: INCROPERA, 2013.

2) Convecção: ocorre quando há a transferência de energia entre uma superfície e um fluido em movimento em virtude da diferença de temperatura entre eles. A figura 2 ilustra a transferência de calor de calor por convecção quando um fluido escoia sobre uma placa aquecida (INCROPERA, 2013).

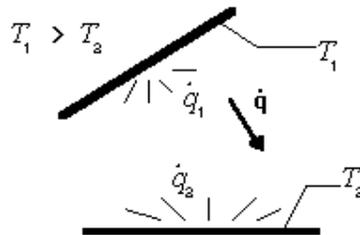
Figura 2: Transferência de calor por convecção



Fonte: INCROPERA, 2013.

3) Radiação: ocorre quando, na ausência de um meio interveniente, existe uma troca líquida de energia (emitida na forma de ondas eletromagnéticas) entre duas superfícies a diferentes temperaturas. A figura 3 ilustra a transferência de calor por radiação entre duas superfícies com temperatura T_1 e T_2 (INCROPERA, 2013).

Figura 3: Transferência de calor por radiação

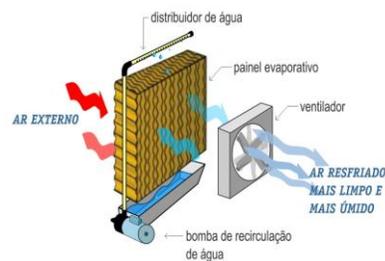


Fonte: INCROPERA, 2013.

2. DESENVOLVIMENTO

Climatizar certos locais, não é procurar o conforto ou mesmo um certo luxo, mas uma necessidade de higiene. Um bom “clima” no caso de hospitais acelera a cura dos doentes e intensifica a potência de trabalho do indivíduo. O calor proveniente do metabolismo humano serve para manter constante a temperatura do corpo, o que é indispensável para o desenvolvimento das fases vitais. Uma parte deste calor é cedida ao ambiente. Com efeito a temperatura do corpo humano é geralmente mais elevada do que a do ar, que o envolve. A epiderme participa, em primeiro lugar, nesta troca térmica, a respiração também, mas em menor grau. Ela faz-se de quatro maneiras diferentes: 1- Por transmissão ao ambiente (convecção); 2- Por irradiação, na direção das superfícies mais frias do local; 3- Por evaporação da epiderme (transpiração); 4- Pelas vias respiratórias (calor seco e evaporação de água). O ar, como será visto em detalhe, é uma mistura de diversos gases, e, por conseguinte é também um gás. É composto de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, e 1% de uma mistura de hidrogênio, gás carbônico e argônio. O ar pode ser subdividido em dois tipos diferentes, a saber: ar seco e ar úmido. Ar seco é ar sem umidade. Ar úmido é o ar que contém umidade. Os dutos de insuflação enviam ou dirigem o ar proveniente do ventilador ao ambiente condicionado. Deverão ser os mais curtos possíveis e possuir o mínimo de curvas para que o ar possa fluir livremente. A seguir (Figura 4) é ilustrado o desenvolvimento e o funcionamento de um resfriador evaporativo (TORREIRA, 2006).

Figura 4: Funcionamento de um resfriador evaporativo



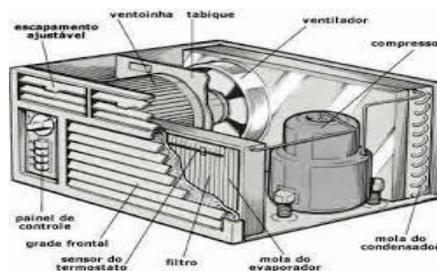
Fonte: ZOOM, 2017.



O resfriador de ar possui um ventilador que aspira ar externo através de um painel evaporativo especial, sobre o qual água é circulada continuamente por uma pequena bomba. A água que evapora é repostada por uma boia que mantém nível constante no reservatório. O painel evaporativo do resfriador é composto por camadas de papel de celulose de alta qualidade, ondulado, poroso, com grande rigidez e durabilidade.

Uma vez colocadas, as camadas formam blocos ou colmeias de área superficial muito grande, que oferecem baixa resistência ao fluxo de ar. O resultado é um equipamento de grande eficiência, compacto, simples, durável e de baixa manutenção que produz ar limpo de excelente qualidade, não saturado e resfriado em até 12°C abaixo da temperatura do ar externo. A figura 5 mostra o desenvolvimento e funcionamento de um condicionador de ar.

Figura 5: Funcionamento de um condicionador de ar.



Fonte: ZOOM, 2017.

O princípio é exatamente o mesmo da geladeira: uma substância capaz de resfriar dentro do aparelho um conjunto de serpentina - algo como um sistema de mangueiras por onde passa líquido ou gás. No caso do ar-condicionado, essa substância à base de cloro, flúor e carbono - é chamada R-22. Esse produto deixa o estado líquido e vira gás a uma temperatura bem baixa: apenas 7°C, contra, por exemplo, os 100 °C de que a água precisa para evaporar. A fria R-22 percorre um circuito de serpentinas, condensadores e evaporadores, absorvendo o calor do ar sugado do ambiente interno. O que os mais diversos modelos de ar-condicionado ainda não conseguiram eliminar é um incômodo efeito colateral: o ressecamento do ar. "Em contato com o frio, a umidade do ar se condensa em gotinhas dentro do ar-condicionado, como acontece em uma garrafa de cerveja gelada", (CARVALHO, 2006).

2.1 - TROCA DE CALOR

Como existem muitas aplicações importantes, a pesquisa e desenvolvimento voltados para os trocadores de calor possuem um longo histórico. Tal atividade não está em hipótese alguma terminada, pois muitos trabalhadores talentosos continuam buscando formas para melhorar o projeto e o desempenho desses equipamentos. Na realidade, com o aumento da preocupação com a conservação de energia, tem havido uma constante e substancial intensificação dessa atividade. Um ponto central neste trabalho é a intensificação da transferência de calor, que inclui a busca



por superfícies especiais para trocadores de calor, por meio das quais uma melhora na taxa de transferência pode ser conseguida.

2.2 - LEI BÁSICA PARA CONVECÇÃO

O calor transferido por convecção, na unidade de tempo, **entre uma superfície e um fluido**, pode ser calculado através da relação proposta por Isaac Newton :

$$\dot{q} = h.A.\Delta T \quad (\text{eq. 1})$$

onde, \dot{q} = fluxo de calor transferido por convecção (kcal/h);

A = área de transferência de calor (m^2);

ΔT = diferença de temperatura entre a superfície (T_s) e a do fluido em um local bastante afastado da superfície ($^{\circ}\text{C}$). A figura 7 ilustra o perfil de temperatura e T para o caso de um fluido escoando sobre uma superfície aquecida;

h = coeficiente de transferência de calor por convecção ou coeficiente de película.

$$\text{Sistema Inglês} \rightarrow \frac{\text{Btu}}{\text{h.ft}^2.^{\circ}\text{F}}$$

$$\text{Sistema Internacional} \rightarrow \frac{\text{W}}{\text{m}^2.\text{K}}$$

2.4 - DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PELÍCULA (h)

Como visto anteriormente, o coeficiente h é uma função de uma série de variáveis relacionadas com as seguintes características:

1. Dimensão Característica (D)

D : é a dimensão que domina o fenômeno da convecção. Ex: diâmetro de um tubo, altura de uma placa, etc

2. Propriedades Físicas do Fluido ($\mu, \rho, c_p, k, \delta$)

μ : viscosidade dinâmica do fluido;

ρ : densidade do fluido;

C_p : calor específico do fluido;

k : condutividade térmica do fluido;

δ : coeficiente de expansão volumétrica

3. Estado de Movimento do Fluido ($V, g, \Delta T$)

V : velocidade do fluido;

g : aceleração da gravidade;

ΔT : diferença de temperatura entre a superfície e o fluido

Logo, h é uma função do tipo :

$$h = f(D, \mu, \rho, c_p, k, \delta, V, g, \Delta T) \quad (\text{eq. 2})$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada a compra de materiais para a construção do sistema de resfriamento e umidificação, sendo estes mostrados na tabela 1.

Tabela 1: Matérias primas utilizadas na construção do sistema de resfriamento

Estrutura (vigas de alumínio, acrílico, silicone)
Hélice
Parafusos
Colmeia de celulose
Plugs
Fios
Bomba D'água
Cano PVC + curva 90°
Calhas

Fonte: Autor, 2017.

Foram medidas as diferenças de umidade, temperatura e consumo de energia elétrica do ar condicionado, ventilador de teto e o resfriador e umidificador de ar construído.

O resfriador foi instalado em uma residência, no Bairro Jamil Mattar na cidade de Igarapava/SP onde residem quatro pessoas. O sistema foi instalado no piso da área externa da casa e o duto de insuflação colocado acima da janela, como mostra a figura 10. A parede foi furada na medida do duto de medidas 19x22 cm para a entrada do ar no quarto do casal de medida 14,4 m² (4,40 m x 3,25 m).

A figura 6 mostra o duto de insuflação responsável pelo transporte do ar refrigerado para o interior do ambiente.

Figura 6: Área externa da casa onde foi instalado o duto de insuflação



Fonte: Autor, (2017)

As figuras 7 e 8 mostram a instalação da bomba de sucção, da colméia de celulose e da tubulação de PVC para recirculação de água no sistema.

Figura 7: Instalação da bomba de sucção da água



Fonte: Autor, (2017)

Figura 8: Instalação da colméia de celulose



Fonte: Autor, (2017)

A figura 9 mostra o projeto em funcionamento com todos os equipamentos já instalados.

Figura 9: Projeto em funcionamento



Fonte: Autor, (2017)

A figura 10 mostra o termohigrômetro utilizado para medida de temperatura e umidade do ambiente estudado.

Figura 10: Termohigrômetro usado na medição de temperatura e umidade do ar



Fonte: Autor, (2017)

Sendo assim, com o resfriador e umidificador de ar pronto e instalado, foram feitos os testes onde, foi ligada a hélice para sucção do ar e ligada a bomba de recirculação da água para umidificar, filtrar e limpar o ar que será puxado. Com o termohigrômetro dentro do quarto foram feitas as medições de temperatura e umidade com o resfriador em funcionamento para obtenção dos resultados e verificação na variação de temperatura e umidade e a consequente avaliação da eficiência do sistema e comparação do consumo energético em relação ao uso do ventilador de teto e o ar condicionado.

Nesse sentido, foram realizados também, os cálculos para verificar o fluxo de calor para o ambiente climatizado (quarto), sendo estes demonstrados no anexo 1 e os parâmetros para a base de cálculo, mostrados na tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros utilizados para a base de cálculos do fluxo de calor no ambiente



espessura do reboco	L	0,015m
espessura do tijolo	L	0,22m
coeficiente térmico do reboco	K	0,015w/m.K
coeficiente térmico do tijolo	K	0,44w/m.K
comprimento do quarto	C	4,41m
altura do quarto	H	2,95m
largura do quarto	L	3,21m
temperatura da pessoa	T_{sp}	309,15K
temperatura do piso	T_{piso}	295,15K
temperatura do forro	T_{forro}	299,75K
temperatura da parede interna do quarto	T_{∞}	297,55K
temperatura da parede externa do quarto	T_s	301,35K
constante de Stefan-Boltzman	σ	$5,675 \cdot 10^{-8} \text{w/m}^2 \cdot \text{K}^4$
emissividade de um corpo	ϵ	0,7

Fonte: Autor, (2017)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto realizado teve o seu custo (Tabela 4) no valor total de R\$ 394,06. Comparado a um climatizador de mesma potência no mercado e um aparelho de ar condicionado, trata-se de um sistema de mais baixo custo, sendo estes em torno de R\$ 550,00 e R\$ 1.200,00 em média, respectivamente. Logo, a viabilidade financeira do projeto e do sistema desenvolvido é favorável, quando comparado a outros sistemas.

Tabela 4: Custo total do projeto

Materiais	Preço (R\$)
Estrutura (vigas de alumínio, acrílico, silicone)	120,00
Hélice	55,00
Parafusos	3,00
Colmeia de celulose	60,00
Plugs	3,66
Fios	11,50
Bomba D'água	32,90
Cano PVC + curva 90°	8,00
Calhas	100,00
Custo Efetivo Total	394,06



Fonte: Autor, (2017).

O propósito deste trabalho foi mostrar para moradores de uma residência a importância de um resfriador e umidificador de ar, comparando ele com um ar condicionado e um ventilador de teto, principalmente em termos de custos de implementação e custo energético de operação. Os valores de custo de operação, bem como economia de energia, considerando os mesmos semelhantes valores para tempo de funcionamento são mostrados na tabela 5.

Tabela 5: Relação no consumo de energia

Resfriador e umidificador de ar X Ar Condicionado	(R\$/h) 0,71 X 0,06	Economia na energia de 92%
Resfriador e umidificador de ar X Ventilador de teto	(R\$/h) 0,08 X 0,06	Economia na energia de 25%

Fonte: Acervo do autor, (2017)

Tabela 6: Relação da umidade antes e depois do funcionamento

Resfriador e umidificador de ar	Antes 51%	Depois 61%	Aumentou a umidade em 10%
Ventilador de teto	Antes 45%	Depois 51%	Aumentou a umidade em 6%
Ar condicionado	Antes 53%	Depois 44%	Diminuiu a umidade em 9%

Fonte: Acervo do autor, (2017)

Tabela 7: Relação da temperatura antes e depois do funcionamento

Resfriador e umidificador de ar	Antes 31,1	Depois 27,4	Diminuiu a temperatura em 3,7°C
Ventilador de teto	Antes 31,3	Depois 31,0	Diminuiu a temperatura em 0,3°C
Ar condicionado	Antes 31,3	Depois 27,4	Diminuiu a temperatura em 3,9°C

Fonte: Acervo do autor, (2017)

5. CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi mostrar para moradores de uma residência a importância de um resfriador e umidificador de ar, comparando ele com um ar condicionado e um ventilador de teto. Observou-se um aumento de umidade e redução de temperatura do ambiente estudado, os quais proporcionaram para os moradores, um maior conforto, sobretudo, pois, as algumas pessoas apresentam problemas respiratórios. Além disso, o sistema utilizado proporcionou uma economia de energia, representando assim uma redução de custos de operação.



6. REFERÊNCIAS

BEN - Boletim Energético Nacional – Junho 2017. Disponível em: www.ben.epe.gov.br. Acessado em 22 de Junho de 2017.

ZOOM. Disponível em: <www.zoom.com.br> ... > **Ar Condicionado > Entenda antes de comprar.**> Acesso em: 18 abr. 2017.

CUNHA, Eduardo Grala da. **Elementos de Arquitetura de Climatização Natural**. 2.ed. Porto Alegre-RS: Masquatro Editora. 2006. 188p.

TORREIRA, Raul Peragallo. **Elementos Básicos de Ar Condicionado**. 5.ed. Vila Pirajussara CEP 05580-050 Rua: Santanésia, 528 1º andar: RPA Editorial. 382p.

INCROPERA, Frank; DE WITT, David; BERGMAN, Theodore; LAVINE, Adrienne. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6.ed. Rio de Janeiro. LTC. 2013. 643p.

7. ANEXO

Cálculos do Fluxo de Calor

$$q'' = \frac{Q_t}{A}$$

$$Q_t = Q_{\text{convpessoas}} + Q_{\text{radpessoas}} + Q_{\text{forro}} + Q_{\text{pisso}} + Q_{\text{paredes}}$$

$$Q_{\text{convpessoas}} = h \cdot A_s \cdot (T_{\text{sp}} - T_{\infty})$$

$$Q_{\text{convpessoas}} = 8 \text{ w/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 1,85 \text{ m}^2 \cdot (309,15 - 297,55) \text{ K}$$

$$Q_{\text{convpessoas}} = 171,68 \text{ w}$$

$$Q_{\text{radpessoas}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_{\text{sp}}^4 - T_{\infty}^4)$$

$$Q_{\text{radpessoas}} = 0,7 \cdot 5,675 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \cdot \text{K}^4 \cdot 1,85 \text{ m}^2 \cdot (309,15^4 - 297,55^4) \text{ K}^4$$

$$Q_{\text{radpessoas}} = 95,22 \text{ w}$$

$$Q_{\text{forro}} = h \cdot A_{\text{forro}} \cdot (T_{\text{sp}} - T_{\infty})$$

$$Q_{\text{forro}} = 6 \text{ w/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 14,1561 \text{ m}^2 \cdot (309,15 - 297,55) \text{ K}$$

$$Q_{\text{forro}} = 985,26 \text{ w}$$

$$Q_{\text{pisso}} = h \cdot A_{\text{pisso}} \cdot (T_{\text{sp}} - T_{\infty})$$

$$Q_{\text{pisso}} = 10,5 \text{ w/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 14,1561 \text{ m}^2 \cdot (309,15 - 297,55) \text{ K}$$

$$Q_{\text{pisso}} = 1724,21 \text{ w}$$

$$R_T = \frac{1}{h_{\text{int}} \cdot A} + \frac{L}{K \cdot A} + R_T + \frac{1}{h_{\text{ext}} \cdot A}$$



$$R_T = \frac{1}{8 \text{ w/m}^2\cdot\text{K}} + \frac{0,015\text{m}}{1,15 \text{ w/m}\cdot\text{K} \cdot 2,95 \text{ m}^2} \cdot 2 + 0,93\text{K/w} + \frac{1}{25\text{w/m}^2\cdot\text{K}\cdot 2,95\text{m}^2}$$

$$R_T = 0,995 \text{ K/w}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{\text{Reboco}}} + \frac{1}{R_{\text{Tijolo}}} + \frac{1}{R_{\text{Reboco}}}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{L}{K \cdot A}} + \frac{1}{\frac{L}{K \cdot A}} + \frac{1}{\frac{L}{K \cdot A}}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{0,015 \text{ m}}{0,015 \text{ w/m}\cdot\text{K} \cdot 0,29 \text{ m}^2}} + \frac{1}{\frac{0,22 \text{ m}}{0,44 \text{ w/m}\cdot\text{K} \cdot 0,25 \text{ m}^2}} + \frac{1}{\frac{0,015 \text{ m}}{0,015 \text{ w/m}\cdot\text{K} \cdot 0,29 \text{ m}^2}}$$

$$R_T = 0,93 \text{ K/w}$$

$$Q_{\text{Tparedes}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{Tparede}}}$$

$$Q_{\text{Tparedes}} = \frac{(301,35 - 297,55)\text{K}}{0,995 \text{ K/w}}$$

$$Q_{\text{Tparedes}} = 3,819 \text{ w perdida por metro}$$

$$Q_{\text{TP1}} = 2 \cdot 4,41 \text{ m} \cdot 2,95 \text{ m} \cdot 3,819\text{w} = 99,37 \text{ w/m}^2$$

$$Q_{\text{TP2}} = 2 \cdot 3,21 \text{ m} \cdot 2,95 \text{ m} \cdot 3,819\text{w} = 72,33 \text{ w/m}^2$$

$$Q_{\text{TCHÃO}} = 10,5 \text{ w/m}\cdot\text{K} \cdot 3,21 \text{ m} \cdot 4,41 \text{ m} \cdot (295,15 - 297,55)\text{K} = -356,73 \text{ w/m}^2$$

$$Q_{\text{Tteto}} = 6 \text{ w/m}\cdot\text{K} \cdot 3,21 \text{ m} \cdot 4,41 \text{ m} \cdot (299,75 - 297,55)\text{K} = 186,86 \text{ w/m}^2$$

$$q'' = 1,83 \text{ w/m}^2$$

Observações:

Foi desprezado a janela,

Espaço do homem que dorme no quarto = 83 Kg, 1,60 m

$$A_s = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725}$$

$$A_s = 0,202 \cdot 83^{0,425} \cdot 1,60^{0,725}$$

$$A_s = 1,85 \text{ m}^2$$