

UNIVERSIDADE DE UBERABA

THIAGO DOS SANTOS NUNES

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

Uberaba/MG

2017

THIAGO DOS SANTOS NUNES

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

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Química na Universidade de Uberaba, como requisito parcial para a obtenção do grau em Engenharia Química.

Orientador Prof.: Dr. David Maikel Fernandes

Uberaba/MG

2017

THIAGO DOS SANTOS NUNES

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

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Química na Universidade de Uberaba, como requisito parcial para a obtenção do grau em Engenharia Química.

Aprovada em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. David Maikel Fernandes
Orientador/UNIUBE

Prof. Ms. Ana Paula Silva
Avaliador/UNIUBE

Prof. Ms. José Waldir de Sousa Filho
Avaliador/UNIUBE

É com enorme satisfação que dedico este trabalho a Deus por tudo, a meus pais João Batista Nunes e Márcia Nogueira dos Santos Nunes pela preocupação nos meus estudos, sempre me dando forças para nunca desistir dos meus objetivos e a minha esposa Maytê Fabiana Pavão, que esteve sempre do meu lado nas horas mais difíceis me ajudando...

“Também é importante salientar que a exposição a ambientes refrigerados por ar condicionado favorece o aparecimento de infecções respiratórias agudas porque o mesmo desidrata o ar e resseca o muco protetor que reveste as mucosas das vias aéreas. O ressecamento da superfície do epitélio respiratório destrói anticorpos e enzimas que atacam germes invasores, predispondo-nos às infecções”.

(VARELLA, 2002).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a professora Angelita de Fátima Souza pela sua dedicação de estar envolvida ajudando em toda montagem deste trabalho, ao professor Marcelo Costa pela dedicação e ajuda nas pesquisas deste trabalho e ao Gestor do Curso de Engenharia Química Mauro Luiz Begnini pela atenção e ajuda nas dúvidas geradas durante todo o decorrer do curso.

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.

Palavras-chave: Resfriador, Umidificador, Análise de custos.

ABSTRACT

The purpose of this study was develop a system of cooling and humidifier of air to residents and verify the lower costs of production and operation when compared at air condition system and ceiling fan. Were performed the analysis costs of project, relation in energy consumption in comparison the use of air condition and ceiling fan during the equal time of operation, the relative humidity after and before of operation, besides the temperature variation of the air-conditioned environment

Keywords: Chiller; Humidifier; Costs Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Transferência de calor entre dois corpos. (Equilíbrio Térmico).....	13
Figura 2: Transferência de calor por condução em meio estacionário.....	13
Figura 3: Transferência de calor por convecção.....	14
Figura 4: Transferência de calor por radiação.....	14
Figura 5: Funcionamento de um resfriador evaporativo.....	15
Figura 6: Funcionamento de um condicionador de ar.....	16
Figura 7: Representação da transferência de calor entre uma superfície e uma distância tendendo ao infinito.....	17
Figura 8: Representação da camada limite hidrodinâmica.....	19
Figura 9: Representação da transferência de calor de um fluido escoando sobre uma superfície aquecida.....	19
Figura 10: Área externa da casa onde será instalado o duto de insuflação.....	24
Figura 11: Área externa da casa onde já está instalado o duto de insuflação..	24
Figura 12: Área externa da casa onde foi instalado o sistema.....	25
Figura 13: Montagem e colagem das placas de acrílico.....	25
Figura 14: Colagem da armação de alumínio nas placas de acrílico.....	26
Figura 15: Instalação da bomba de sucção da água.....	26
Figura 16: Instalação da colméia de celulose.....	26
Figura 17: Instalação da tubulação de PVC para recirculação da água.....	27
Figura 18: O projeto em funcionamento.....	27
Figura 19: Termohigrômetro usado na medição de temperatura e umidade do ar.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ordens de grandeza do coeficiente de película (h).....	18
Tabela 2: Matérias primas utilizadas na construção do sistema de resfriamento.....	23
Tabela 3: Parâmetros utilizados para a base de cálculos do fluxo de calor no ambiente.....	28
Tabela 4: Custo total do projeto.....	29
Tabela 5: Relação no consumo de energia.....	30
Tabela 6: Relação da umidade antes e depois do funcionamento.....	30
Tabela 7: Relação da temperatura antes e depois do funcionamento.....	31
Tabela 8: Medições de potência, horas, dias, consumo energético, temperatura, umidade dos sistemas utilizados.....	32

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	12
2 - DESENVOLVIMENTO	15
2.1 - TROCA DE CALOR	17
2.2 - LEI BÁSICA PARA CONVECÇÃO	17
2.3 - CAMADA LIMITE	19
2.4 - DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PELÍCULA (h).....	21
3 – OBJETIVO.....	23
4 - METODOLOGIA	23
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
7 – REFERÊNCIAS	32

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).

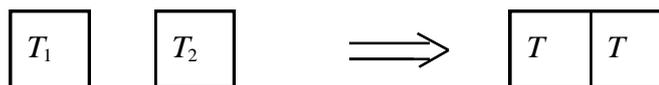
O aumento do consumo de energia elétrica tem provocado a construção de mais usinas hidrelétricas. Elas não poluem o ar, mas causam enormes impactos ambientais, em virtude da quantidade de água represada a fim de mover as turbinas na produção da energia elétrica. Uma alternativa seria a construção de 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).

Por exemplo, se dois corpos a diferentes temperaturas são colocados em contato direto, como mostra a figura 1, ocorrerá uma transferência de calor do corpo de temperatura mais elevada para o corpo de menor temperatura até que haja equivalência de temperatura entre eles até que o sistema atinja o equilíbrio térmico. O calor é, portanto um fenômeno transitório, que cessa quando não existe mais uma diferença de temperatura (INCROPERA, 2013).

Figura 1: Transferência de calor entre dois corpos. (Equilíbrio Térmico)



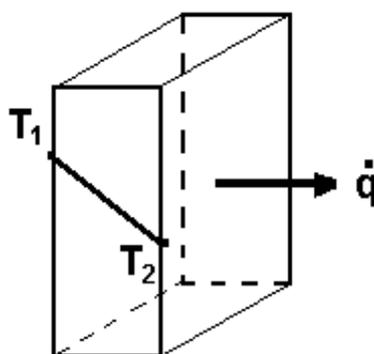
$$\text{Se } T_1 > T_2 \rightarrow T_1 > T > T_2$$

Fonte: INCROPERA, 2013

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

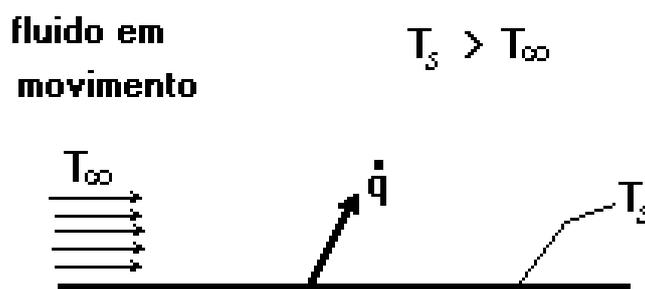
1) Condução: este pode ser um sólido ou um fluido, em virtude de um gradiente de temperatura, usamos o termo transferência de calor por condução. A figura 2 ilustra a transferência de calor por condução através de uma parede sólida submetida à uma diferença de temperatura entre suas faces (INCROPERA, 2013).

Figura 2: Transferência de calor por condução em meio estacionário



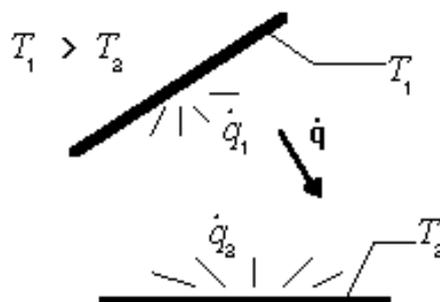
Fonte: INCROPERA, 2013.

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 3 ilustra a transferência de calor de calor por convecção quando um fluido escoia sobre uma placa aquecida (INCROPERA, 2013).

Figura 3: 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 4 ilustra a transferência de calor por radiação entre duas superfícies com temperatura T_1 e T_2 (INCROPERA, 2013).

Figura 4: Transferência de calor por radiação

Fonte: INCROPERA, 2013.

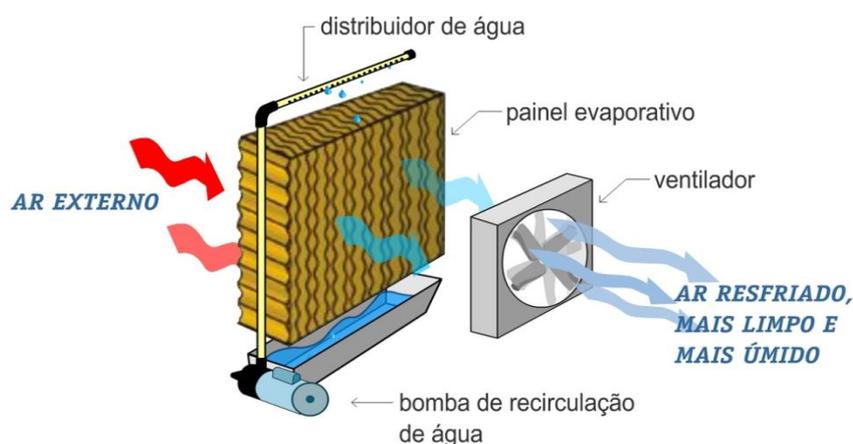
Os sistemas de ar condicionado, bem como os condicionadores de ar, trocam calor por convecção, possibilitando dessa forma, a movimentação das correntes de ar (quente e frias) o que provoca a diminuição da temperatura média do ambiente. Nesse caso, ocorre a realização de trabalho, quando o sistema troca calor com o ambiente. Essa interação é governada pela primeira lei da termodinâmica. Embora a termodinâmica trate das interações do calor e o papel que ele desempenha na primeira e na segunda leis, ela não leva em conta nem o mecanismo de transferência nem os métodos de cálculo da **taxa de transferência de calor**. Dessa forma, a termodinâmica trata com estados de

equilíbrio da matéria onde inexistem gradientes de temperatura não quantificando a taxa (velocidade) na qual a transferência de calor ocorre (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 5) é ilustrado o desenvolvimento e o funcionamento de um resfriador evaporativo (TORREIRA, 2006).

Figura 5: Funcionamento de um resfriador evaporativo

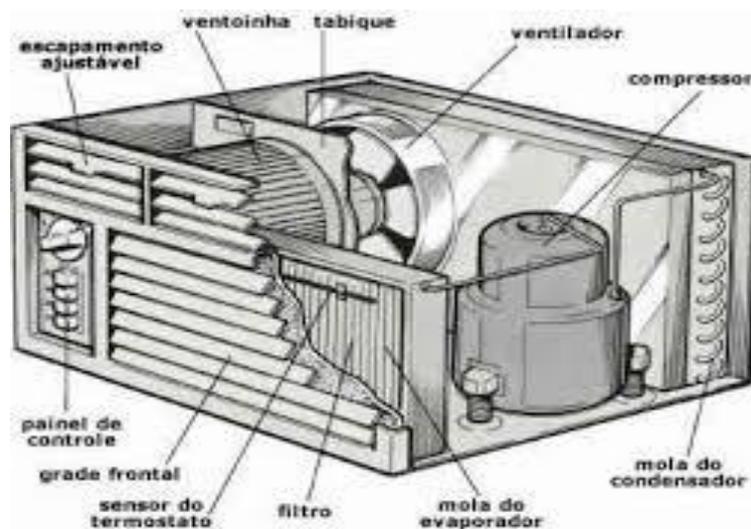


Fonte: ZOOM, 2017.

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 6 mostra o desenvolvimento e funcionamento de um condicionador de ar.

Figura 6: 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). Esse engenheiro que trabalha em uma empresa fabricante de aparelhos de ar-condicionado em São Paulo (CUNHA, 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:

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

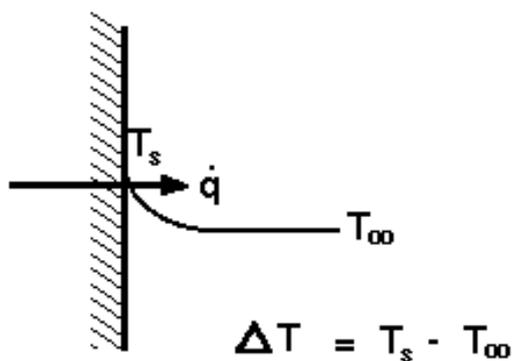
onde, \dot{q} = fluxo de calor transferido por convecção (kcal/h);

A = área de transferência de calor (m²);

ΔT = diferença de temperatura entre a superfície (T_s) e a do fluido em um local bastante afastado da superfície (°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.

Figura 7: Representação da transferência de calor entre uma superfície e uma distância tendendo ao infinito.



Fonte: QUITES, 2017

A simplicidade da equação de Newton é ilusória, pois ela não explícita as dificuldades envolvidas no estudo da convecção, servindo apenas como uma definição do coeficiente de película (h). O coeficiente de película é, na realidade, uma função complexa do escoamento do fluido, das propriedades físicas do meio fluido e da geometria do sistema. Seu valor numérico não é, em geral, uniforme sobre a superfície. Por isto utiliza-se um valor médio para a superfície. A partir da equação 1, podem ser obtidas as unidades do coeficiente de película. No sistema prático métrico, temos:

$$h = \frac{q}{A \cdot \Delta T} \quad \frac{\text{Kcal/h}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad (\text{eq. 2})$$

Analogamente, nos sistemas Inglês e Internacional, temos:

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

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

A tabela 1 mostra, para diversos meios, ordens de grandeza do coeficiente de película em unidade do sistema prático métrico:

Tabela 1: Ordens de grandeza do coeficiente de película (h)

Meio	kcal/h.m ² .°C
Ar, convecção natural	5-25
Vapor, convecção forçada	25-250
Óleo, convecção forçada	50-1500
Água, convecção forçada	250-10000

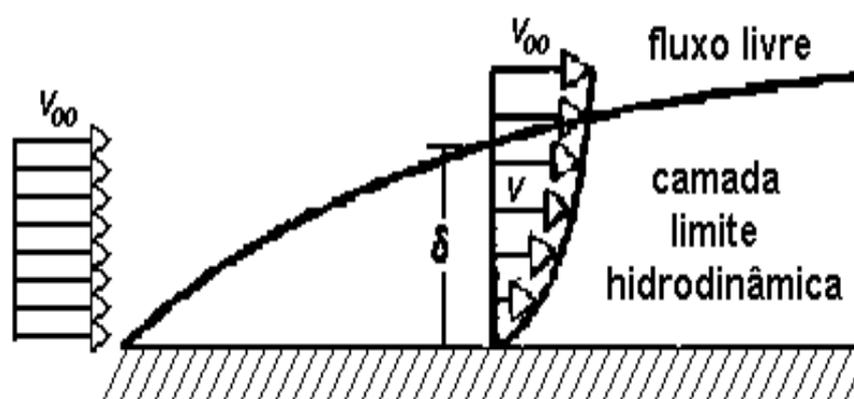
Água convecção em ebulição	2500-50000
Vapor, em condensação	5000-100000

Fonte: QUITES, 2017

2.3 - CAMADA LIMITE

Quando um fluido escoar ao longo de uma superfície, seja o escoamento em regime laminar ou turbulento, as partículas na vizinhança da superfície são desaceleradas em virtude das forças viscosas. A porção de fluido contida na região de variação substancial de velocidade, ilustrada na figura 8, é denominada de camada limite hidrodinâmica (QUITES, 2017).

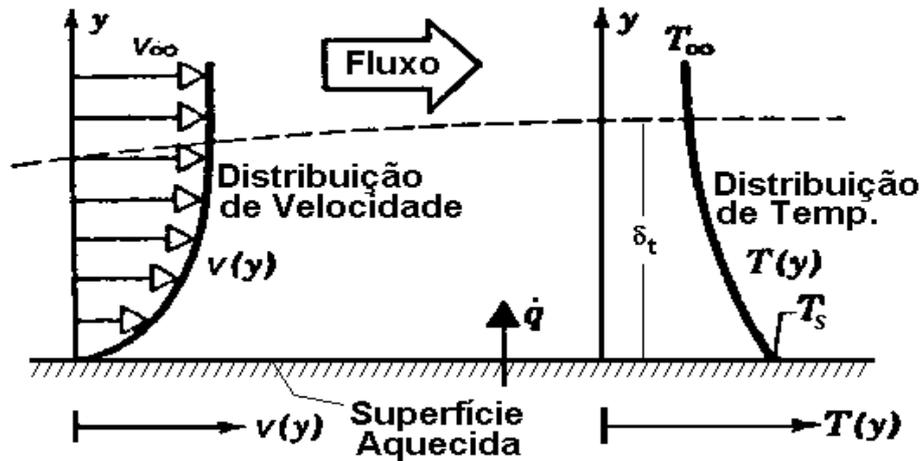
Figura 8: Representação da camada limite hidrodinâmica.



Fonte: QUITES, 2017

Consideremos agora o escoamento de um fluido ao longo de uma superfície quando existe uma diferença de temperatura entre o fluido e a superfície. Neste caso, O fluido contido na região de variação substancial de temperatura é chamado de camada limite térmica. Por exemplo, analisemos a transferência de calor para o caso de um fluido escoando sobre uma superfície aquecida, como mostra a figura 9. Para que ocorra a transferência de calor por convecção através do fluido é necessário um gradiente de temperatura (camada limite térmica) em uma região de baixa velocidade (camada limite hidrodinâmica) (QUITES, 2017).

Figura 9: Representação da transferência de calor de um fluido escoando sobre uma superfície aquecida.



Fonte: QUITES

O mecanismo da convecção pode então ser entendido como a ação combinada de condução de calor na região de baixa velocidade onde existe um gradiente de temperatura e movimento de mistura na região de alta velocidade. Portanto:

- ◆ Região de baixa velocidade → a **condução** é mais importante
- ◆ Região de alta velocidade → a **mistura** entre o fluido mais quente e o mais frio contribui substancialmente para a transferência de calor

Na camada limite térmica tem-se, portanto elevados gradientes de temperatura e pode-se dizer que o estudo do fenômeno da convecção se reduz ao estudo da condução através da mesma. Portanto, considerando a camada limite térmica como uma "parede" hipotética de espessura d_t e condutividade térmica k_t , temos:

$$q = k_t \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty}) \rightarrow \text{fluxo de calor por condução na camada limite térmica.} \quad (\text{eq. 3})$$

Pela equação de Newton temos que :

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty}) \rightarrow \text{fluxo de calor por convecção.} \quad (\text{eq. 4})$$

Igualando as equação 3 e 4, obtemos:

$$\frac{k_t \cdot A}{\delta_t} (T_s - T_{\infty}) = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty})$$

$$h = \frac{k_t}{\delta_t} \quad (\text{eq. 5})$$

Embora essa imagem seja consideravelmente simplificada, a equação 5 mostra que o coeficiente de película é inversamente proporcional à espessura da camada limite térmica. Desta forma, pode entendida, por exemplo, a ação de um ventilador. O aumento da velocidade do fluido causado pela rotação das pás resulta aumento da velocidade de escoamento e, como consequência, em redução da camada limite térmica sobre a nossa pele. A equação 4.5 mostra que isto resulta em uma elevação do coeficiente de película. Esta elevação do coeficiente de película é responsável pelo aumento da transferência de calor por convecção (equação 1) e pela conseqüente sensação de alívio do calor (QUITES, 2017).

2.4 - DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PELÍCULA (h)

Como visto anteriormente, o coeficiente h é uma função complexa 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, ΔT)

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 :

$$h = f(D, \mu, \rho, c_p, k, \delta, V, g, \Delta T)$$

(eq. 6)

Uma fórmula que levasse em conta todos estes parâmetros seria extremamente complexa. O problema é, então, contornado dividindo-se o estudo em casos particulares. Por exemplo, o estudo da convecção em gases pode ser subdividido assim :

$$\text{convecção em gases} \left\{ \begin{array}{l} \text{natural} \left\{ \begin{array}{l} \text{parede plana} \left\{ \begin{array}{l} \text{horizontal} \\ \text{vertical} \end{array} \right. \\ \text{paredecilíndrica} \left\{ \begin{array}{l} \text{horizontal} \\ \text{vertical} \left\{ \begin{array}{l} \text{interna} \\ \text{externa} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \\ \text{forçada} \{ \text{etc} \end{array} \right.$$

Para cada caso particular são obtidas equações empíricas através da técnica de análise dimensional combinada com experiências, onde os coeficientes de película são calculados a partir de equações empíricas obtidas correlacionando-se os dados experimentais com o auxílio da análise dimensional. O desenvolvimento desta técnica foge ao escopo deste curso, entretanto, podemos afirmar que os resultados são obtidos na forma de equações dimensionais como mostrado nos exemplos a seguir:

- Para **Convecção Forçada** a equação é do tipo:

$$Nu = \Phi(\text{Re}, \text{Pr})$$

$$\text{onde, } Nu = \frac{h \cdot D}{k}; \text{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \text{Pr} = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad (\text{eq. 7})$$

Exemplo : escoamento de um fluido no interior de um tubo de diâmetro D no regime de escoamento turbulento ($\text{Re} > 3300$). Neste caso, usamos a seguinte equação:

$$Nu = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^n$$

$$\text{onde, } \left\{ \begin{array}{l} n = 0,3 \text{ p / fluido esfriando} \\ n = 0,4 \text{ p / fluido aquecendo} \end{array} \right. \quad (\text{eq. 8})$$

- Para **Convecção Natural** a equação é do tipo :

$$Nu = \Phi(\text{Gr}, \text{Pr})$$

$$\text{onde, } Gr = \frac{D^3 \cdot \delta \cdot g \cdot \Delta T}{\mu^2} \quad (\text{eq. 9})$$

Exemplo: Convecção natural sobre placas verticais de altura D e cilindros de grande diâmetro e altura D ($p/Gr.Pr < 10^8$). Neste caso, usamos a seguinte equação:

$$Nu = 0,56(Gr.Pr)^{0,25} \quad (\text{eq. 10})$$

3 – OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho será instalar um resfriador e umidificador de ar em uma residência.

O objetivos específicos deste trabalho será:

- Construir o resfriador e umidificador de ar;
- Analisar o local para instalação do aparelho;
- Fazer os testes pós-instalação.

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. Mostrando o quanto ele seria importante a pessoas que tem problemas alérgicos porque além dele resfriar o ar ele aumenta a umidade trazendo assim mais conforto. A outra solução que ele traz seria referente à economia de energia, pois ele gasta menos energia que o ar condicionado e até mesmo que o ventilador de teto.

Trazendo assim benefícios aos moradores daquela residência agregando vantagens e diminuindo custos, reduzindo a temperatura, limpando e hidratando o ar. A importância deste aparelho em uma residência é que ele substitua um ar condicionado, pois tem um princípio simples de funcionamento onde diminui a temperatura do ar e aumenta a umidade no ambiente trazendo mais conforto para esta família e economizando energia.

4 - METODOLOGIA

Foi realizada a compra de materiais para a construção do sistema de resfriamento e umidificação, sendo estes mostrados na tabela 2.

Tabela 2: 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).

Figura 10: Área externa da casa onde será instalado o duto de insuflação



Fonte: Acervo do autor, (2017)

A figura 11 mostra o duto de insuflação responsável pelo transporte do ar refrigerado para o interior do ambiente.

Figura 11: Área externa da casa onde foi instalado o duto de insuflação



Fonte: Autor, (2017)

A figura 12 mostra a base, situada na área externa da casa onde foi instalado o sistema de refrigeração e umidificação.

Figura 12: Área externa da casa onde foi instalado o sistema.



Fonte: Autor, (2017)

As figuras 13 e 14 mostram, respectivamente, a colagem das placas de acrílico e a colocação da armação de alumínio nas placas.

Figura 13: Montagem e colagem das placas de acrílico



Fonte: Autor, (2017)

Figura 14: Colagem da armação de alumínio nas placas de acrílico



Fonte: Autor, (2017)

As figuras 15, 16 e 17 mostram a instalação da bomba de sucção, da colméia de celulose e da tubulação de PVC para recirculação de água no sistema.

Figura 15: Instalação da bomba de sucção da água



Fonte: Autor, (2017)

Figura 16: Instalação da colméia de celulose



Fonte: Autor, (2017)

Figura 17: Instalação da tubulação de PVC para recirculação da água



Fonte: Autor, (2017)

A figura 18 mostra o projeto em funcionamento com todos os equipamentos já instalados.

Figura 18: Projeto em funcionamento



Fonte: Autor, (2017)

A figura 19 mostra o termohigrômetro utilizado para medida de temperatura e umidade do ambiente estudado.

Figura 19: 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, será 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 a 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	$5,675 \cdot 10^{-8}w/m^2.K^4$
emissividade de um corpo	ϵ	0,7

Fonte: Autor, (2017)

5 – 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)

A convecção pode ser definida como o processo pelo qual energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. Nesse sentido, monitoradas as temperaturas e umidade ambiente, e considerando utilizados para a base de cálculo (Tabela 3), foi calculado o fluxo de calor do sistema, sendo este valor da ordem de $1,83 \text{ w/m}^2$. Há de se ressaltar que as medidas poderiam ser realizadas com o auxílio de uma carta psicrométrica, para uma melhor análise das propriedades termodinâmicas do sistema e um estudo de maior complexidade, porém, o objeto principal de estudo, foi a construção e instalação do sistema, e de modo simplificado, realizado o cálculo do fluxo de calor, e análise do custo efetivo do sistema em funcionamento, comparando-o com o ventilador de teto e o aparelho de ar condicionado, presentes também no quarto, o qual foi objeto de estudo. Além

disso, se faz necessário o cálculo mais detalhado das perdas existentes na tubulação instalada em comparação com o sistema de ar condicionado e a circulação de ar realizada pelo ventilador de teto, porém, estas não foram realizadas para critério comparativo.

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 mesmo 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)

Observa-se que em relação ao custo de consumo de energia de um sistema de ar condicionado, o sistema implementado representou uma economia de 92% e em relação ao ventilador de teto, uma economia de energia da ordem de 25%. Dessa forma, em termos econômicos, o sistema implementado mostra-se viável, principalmente quando comparado à implementação de um sistema de ar condicionado.

Foram realizadas também as medidas de umidade, sendo estas mostradas na tabela 6.

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, (2016)

Os aparelhos de ar condicionado tem como desvantagem, a diminuição de umidade ambiente, sendo este, da ordem de 9% no objeto de estudo. Observou-se um aumento da umidade no ambiente, no uso do ventilador de teto e do resfriador de ar, sendo este aumento mais efetivo no sistema de resfriador e umidificador de ar, sendo isto já previamente esperado, haja visto que, no ventilador, este aumento de umidade deve-se principalmente à circulação das correntes de ar já existentes no ambiente, as quais já consideram a sua umidade relativa presente, e, no sistema projetado, há uma recirculação de água, o que faz com que a umidade relativa do ar seja aumentada. Nesse sentido, o sistema implementado aumentou a umidade do ambiente em torno de 10%, sendo efetivo, quando comparado aos demais sistemas utilizados.

A tabela 7 mostra a diferença de temperatura, antes e após o funcionamento dos sistemas estudados.

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)

Observou-se que para o sistema implementado, houve uma redução média de 3,7°C na temperatura ambiente, semelhante à redução do uso de ar condicionado (3,9°C), sob as mesmas condições. Isto demonstra que o sistema atende às expectativas esperadas com a sua implantação, pois, objetivou-se além de uma redução de custos energéticos, a utilização de um sistema que aumentasse a umidade relativa, bem como, uma consequente redução de temperatura, gerando um maior conforto para os residentes que usufruem do ambiente de estudo. A tabela 8 mostra a relação entre a potência utilizada pelos equipamentos, horas trabalhadas, consumo energético, temperatura e umidade obtidas com os testes realizados, com o uso do termohigrômetro.

Tabela 8: Medições de potência, horas, dias, consumo energético, temperatura, umidade dos sistemas utilizados.

APARELHOS	POTÊNCIA (WATTS)	HORAS (LIGADO)	DIAS POR MÊS (LIGADO)	CONSUMO DE ENERGIA (R\$ kw/h)		TEMPERATURA		UMIDADE	
				SP	MG	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS
AR- CONDICIONADO	1080	1	1	0,71	0,93	31,3	27,4	53	44
VENTILADOR	130	1	1	0,08	0,11	31,3	31	45	51
RESFRIADOR E UMIDIFICADOR DE AR	89	1	1	0,06	0,08	31,1	27,4	51	61

Fonte: Acervo do autor, (2017)

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 estudo, 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.

7 – REFERÊNCIAS

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

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

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.

QUITES, Eduardo Emery Cunha; LIA, Luiz Renato Bastos. **Introdução à Transferência de Calor**. Acesso em: 20 jun. 2017.

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

TRANSFERÊNCIA DE CALOR. Disponível em: www.ifsc.usp.br/~donoso/fisica_arquitetura/Transferencia_de_Calor.pdf. Acesso em: 20 jun. 2017.

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

8 – ANEXOS

Cálculos do Fluxo de Calor

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Q_{T\text{paredes}} = \frac{\Delta T}{R_{T\text{parede}}}$$

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

$$Q_{T\text{paredes}} = 3,819 \text{ w perda por metro}$$

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

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

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

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

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

Observações:

Foi desprezado a janela,

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

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

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

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