

## **ANÁLISE DO RENDIMENTO TÉRMICO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE AR CONDICIONADO DO LABORATÓRIO DE REFRIGERAÇÃO DO INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE – CAMPUS ITAPERUNA**

Juvenil Nunes de Oliveira Júnior, M.Sc.  
Docente do Instituto Federal Fluminense Itaperuna - RJ  
E-mail: juvenil.junior@iff.edu.br

Thaynara Ramos de Andrade  
Cursando Técnico em Mecânica no IFFluminense Itaperuna – RJ

Sara Moreti Malaquias Silveira  
Cursando Técnico em Mecânica no IFFluminense Itaperuna – RJ

Rafael Piermattei Benedito  
Cursando Técnico em Mecânica no IFFluminense Itaperuna – RJ

Thiago Botelho Rocha  
Cursando Técnico em Mecânica no IFFluminense Itaperuna – RJ

### **Resumo**

A climatização de ambientes residenciais vem crescendo ao longo dos últimos anos, mesmo o país enfrentando uma crise econômica. Com isso, avaliar se uma instalação de ar condicionado está operando de acordo com o esperado é extremamente importante. Desta forma, este trabalho possui a finalidade de determinar o rendimento térmico da bancada didática de ar condicionado existente no Laboratório de Refrigeração. Para calcular o rendimento térmico de um aparelho de ar condicionado é necessário multiplicar o valor da massa de ar recirculado no evaporador pela variação da entalpia que entra e sai do evaporador. Os instrumentos utilizados neste estudo foram: anemômetro digital, psicrômetro digital e trena, além da bancada didática que possui um aparelho de ar condicionado do tipo janela com capacidade térmica nominal de 7.500Btu/h informado pelo fabricante. Os resultados mostraram que a massa de ar recirculada foi de 580kg/h e a variação da entalpia foi de 3,1kcal/kg, obtendo uma capacidade térmica real de 1.798kcal/h, transformando para Btu/h obtém-se o valor de 7.135Btu/h. Assim, verificou-se que o rendimento térmico do aparelho de ar condicionado da bancada didática ficou

aproximadamente 5% menor que o valor informado pelo fabricante. Essa variação demonstra que a instalação feita está correta e oferecerá uma refrigeração muito próxima do valor nominal. Além disso, as condições ambientais no dia do teste podem ser diferentes das utilizadas nos testes do fabricante e ainda por se tratar de um aparelho instalado em uma bancada e não em um ambiente real pode ter causado esta pequena diferença.

**Palavras-Chave:** Evaporador. Capacidade térmica. Refrigeração.

## **Introdução**

Hoje, pela necessidade e pelo conforto térmico, é utilizado o ciclo de refrigeração, porém apenas nas últimas décadas têm se intensificado os estudos dos efeitos do conforto térmico sobre as pessoas em ambientes internos para alcançar a transferência de calor de uma região com temperatura mais baixa para outra com temperatura mais alta. Esses dispositivos em especial são chamados de refrigeradores e condicionadores de ar (LAMBERTS; XAVIER, 2003). O conforto térmico está relacionado à busca intuitiva do sentir-se bem natural do homem (FANGER, 1970 apud SILVA, 2001).

O condicionador de ar segundo, Çengel, são refrigeradores cujo espaço refrigerado é uma sala ou um edifício, em vez de compartimento para armazenar alimentos (ÇENGEL, 2013). Este aparelho resfria uma sala removendo o calor do ambiente e descarregando-o no lado de fora (TAVEIRA, 2008). Por isso, a importância de saber como proceder desde a instalação, manutenção e no funcionamento diário do mesmo, para que ele esteja sempre fazendo a função que é desempenhada, retirar o calor do ambiente que vai ser refrigerado, assim não perder a eficiência do aparelho que gera gastos na conta de energia elétrica. A energia elétrica é considerada um fator chave para o desenvolvimento econômico de um país. A implementação de medidas que levem a um projeto de ar condicionado energeticamente otimizado ou à otimização das instalações existentes é importante para reduzir custos operacionais (FIORELLI, 2001).

Bem como, a instalação do sistema de ar condicionado deverá ser testada e ajustada dentro dos padrões exigidos nas normas técnicas ANSI/ASHRAE

111:2008. Esse procedimento visa obter o melhor desempenho do sistema instalado. O Balanceamento Térmico de um sistema conclui a instalação, dando-lhe o desempenho requerido pelo projeto, assegurando a qualidade quanto ao consumo de energia e conforto térmico. Os profissionais qualificados, técnicos, que desejam avaliar se o condicionador de ar está tendo o rendimento térmico projetado, precisam fazer o cálculo de capacidade térmica (SILVA, 2011).

Sabendo dessa importância da conscientização de que rendimento térmico do aparelho está ligado à economia do consumo de energia elétrica, foi feito um estudo de rendimento térmico de uma bancada didática de ar condicionado no Laboratório de Refrigeração do Instituto Federal Fluminense – Campus Itaperuna. Desta forma, o projeto teve a finalidade de fazer um cálculo de capacidade térmica do aparelho, modelo janela, da bancada para saber se seu rendimento confere realmente com que está titulado pelo aparelho, sendo um rendimento de 7500 BTU/h. Assim, podendo atribuir os resultados a uma resposta como é verificada a questão de eficiência dos aparelhos.

## **Metodologia**

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada uma bancada didática que é composta por um aparelho de ar condicionado do tipo janela, com capacidade térmica nominal de 7.500 Btu/h, que utiliza como fluido refrigerante o R-22. Esta bancada é mostrada na figura 1.

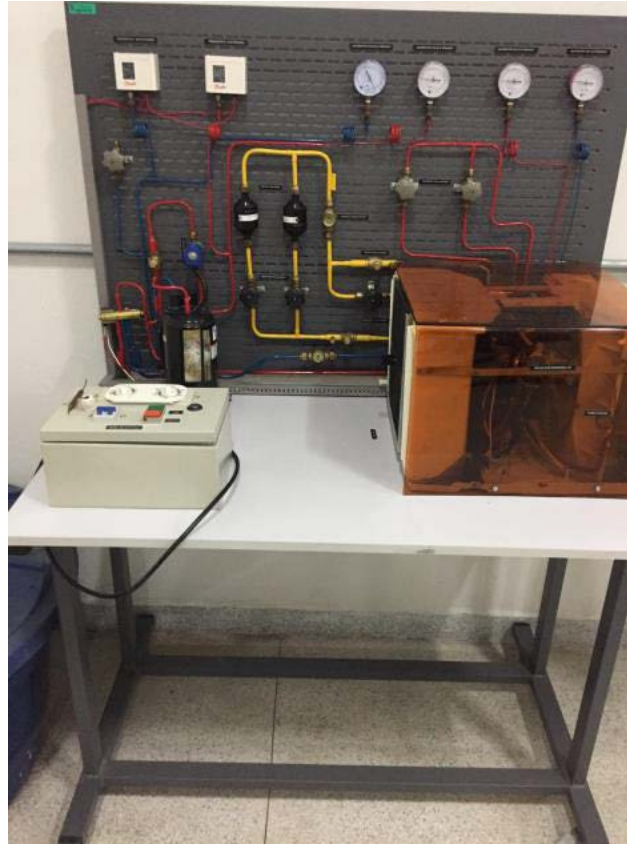


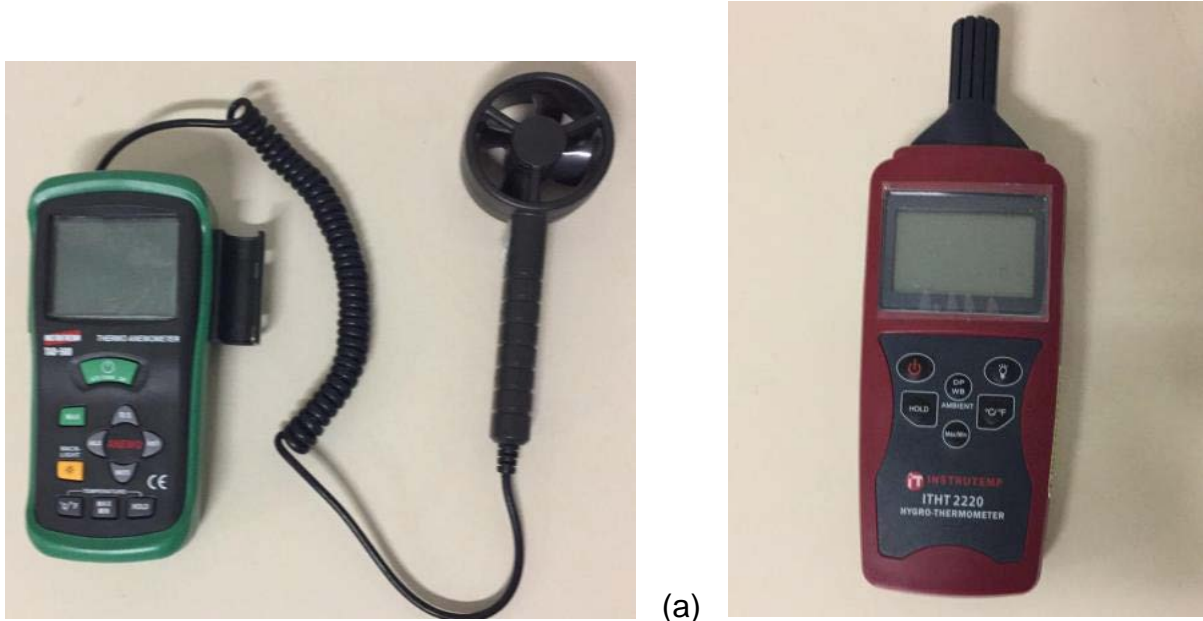
Figura 1: Bancada didática de ar condicionado do Laboratório de Refrigeração

Para calcular o rendimento térmico de um sistema de ar condicionado instalado é necessário calcular a massa de ar recirculado e a variação da entalpia, na entrada e saída do evaporador, como mostra a equação 1:

$$\text{Capacidade Térmica (kcal/h)} = \text{Massa de ar recirculado} \times \text{Variação da Entalpia (Eq. 1)}$$

A massa de ar recirculado é obtida através da multiplicação da vazão do ar ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) e a massa específica do ar na saída do evaporador. A vazão do ar (QAR) é obtida pela multiplicação da velocidade do ar ( $\text{m}/\text{h}$ ) com a área da serpentina de entrada do evaporador ( $\text{m}^2$ ). Já a massa específica do ar é obtida através do uso da carta psicrométrica utilizando os dados coletados na saída do evaporador.

Para a aquisição dos dados, foram utilizados um anemômetro digital e um psicrômetro digital, como mostra a figura 2.



(b)

(a)

Figura 2: Instrumentos de medição utilizados. (a) anemômetro digital e (b) psicrômetro digital

A variação da entalpia, assim como a massa específica do ar, também é obtida através do uso da carta psicrométrica. Esta variação é calculada pela subtração da entalpia do ar na entrada do evaporador e da entalpia do ar na saída do evaporador. Como mostra a equação 2:

$$\text{Variação da Entalpia } \Delta h \text{ (kcal/h)} = h_{ENT} - h_{SAI} \text{ (Eq. 2)}$$

Por fim, com os resultados obtidos, basta empregar a equação 1 e determinar capacidade térmica do aparelho de ar condicionado, sendo que este resultado é obtido em kcal/h. Para converter o resultado em Btu/h, unidade mais utilizada no mercado, deve-se multiplicar o resultado por 12000 e dividir por 3024.

### Resultados e discussões


Os testes na bancada foram realizados durante os meses de junho e julho de 2018 no Laboratório de Refrigeração do Parque Acadêmico Industrial. Antes da medição, a bancada didática foi ligada e as medições dos dados só começaram

após 10 minutos de funcionamento para a equalização do sistema. A bancada foi ajustada para a temperatura máxima, velocidade do ventilador na mais alta e utilizou-se como dispositivo de expansão a válvula de expansão termostática (VET), uma vez que a bancada possui a opção de escolher o tipo de tipo expansão entre o tubo capilar e a VET.

- Primeira Etapa: Cálculo da massa de ar recirculado

A entrada do evaporador foi dividida em nove pontos de coleta de velocidade utilizando o anemômetro digital. No final, o valor utilizado para o cálculo foi a média entre os pontos. A tabela 1 apresenta os resultados das tomadas de velocidade na entrada do evaporador e um esquema da localização dos pontos na serpentina.

Tabela 1: Resultado das velocidades na entrada do evaporador

Pontos analisados	Tomadas de velocidade	
 Serpentina do evaporador	$V_1 = 2,5 \text{ m/s}$	
	$V_2 = 2,7 \text{ m/s}$	$V_{MED} = 2,7 \text{ m/s}$
	$V_3 = 2,3 \text{ m/s}$	ou
	$V_4 = 2,7 \text{ m/s}$	$V_{MED} = 2970$
	$V_5 = 3,0 \text{ m/s}$	m/h
	$V_6 = 2,8 \text{ m/s}$	
	$V_7 = 2,6 \text{ m/s}$	
	$V_8 = 2,9 \text{ m/s}$	
	$V_9 = 3,3 \text{ m/s}$	

Como mostra a tabela 1, o valor médio da velocidade na entrada do evaporador foi de 2,7 m/s ou 9720 m/h. A entrada do evaporador foi medida utilizando uma trena, e possui 0,27 x 0,26 m com uma área de 0,0702 m<sup>2</sup>. Assim, a vazão do ar no evaporador é de:

$$QAR = (9.720 \text{ m}^3/\text{h}) \times (0,0702 \text{ m}^3)$$

$$QAR = 682,34 \text{ m}^3/\text{h}$$

A massa específica do ar na saída do evaporador foi obtida com o auxílio da carta psicrométrica e com os dados medidos com o psicrômetro. Assim, obteve-se como Temperatura de Bulbo Seco (TBS) 21,5 °C e 18,6 °C de Temperatura de Bulbo Úmido (TBU). Na carta psicrométrica foi encontrado o valor muito próximo de 0,85 m<sup>3</sup>/kg para a massa específica, como mostra a figura 3.

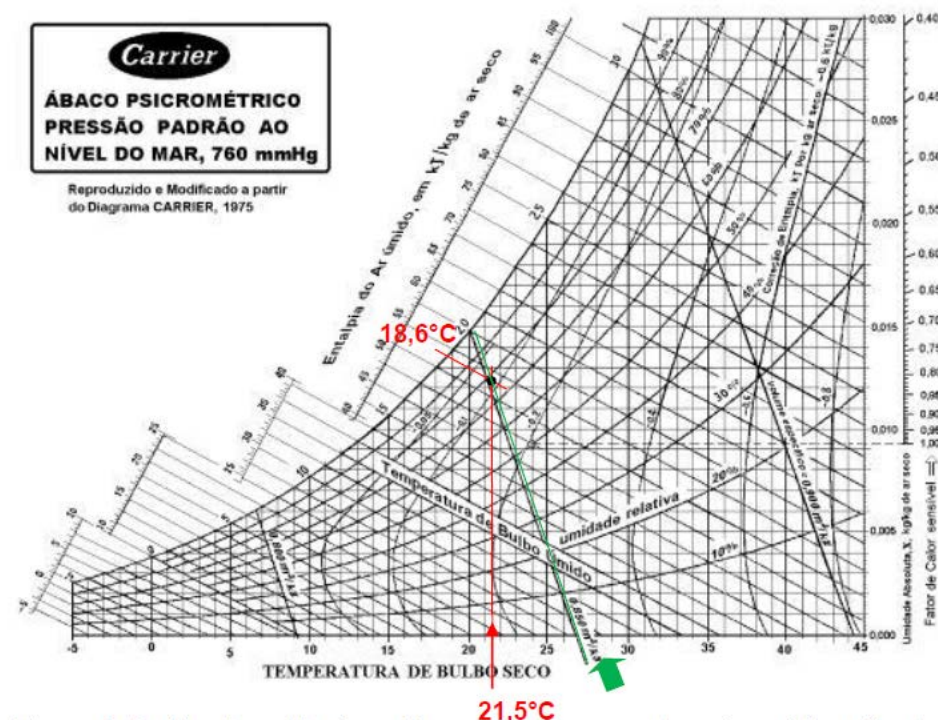


Figura 3: Dados da saída de ar do evaporador na carta psicrométrica (Fonte: CARRIER, 1975)

Com a multiplicação do valor da vazão do ar (QAR) e a massa específica do ar, a massa de ar recirculada pode ser calculada e foi obtido o valor de 580 kg/h.

- Segunda Etapa: Cálculo da variação de entalpia

Foram medidas as temperaturas TBS, TBU e Umidade Relativa (UR) na entrada e saída do evaporador e, depois, com o auxílio da carta psicrométrica foi encontrado o

valor de cada entalpia. A tabela 2 apresenta os dados medidos e as entalpias encontradas através da carta psicrométrica e a figura 4 apresenta a carta psicrométrica com os valores de entrada e saída do evaporador, que foram os pontos estudados neste trabalho.

Tabela 2: Dados levantados na entrada e saída do evaporador.

Entrada do Evaporador		Saída do Evaporador	
TBU	22,2 °C	TBU	21,5 °C
TBS	26,4 °C	TBS	18,6 °C
UR	83,6 %	UR	77 %
Entalpia (h)	66 kJ/kg	Entalpia (h)	53 kJ/kg
	15,8 kcal/kg		12,7 kcal/kg

Como mostra a figura 4, para obter o valor da entalpia basta prolongar uma linha paralela à escala, os valores foram obtidos em kJ/kg e depois feita a conversão para kcal/h. Com as entalpias de entrada e saída e aplicando a equação 2, a variação da entalpia foi de  $\Delta h = 3,1$  kcal/kg.

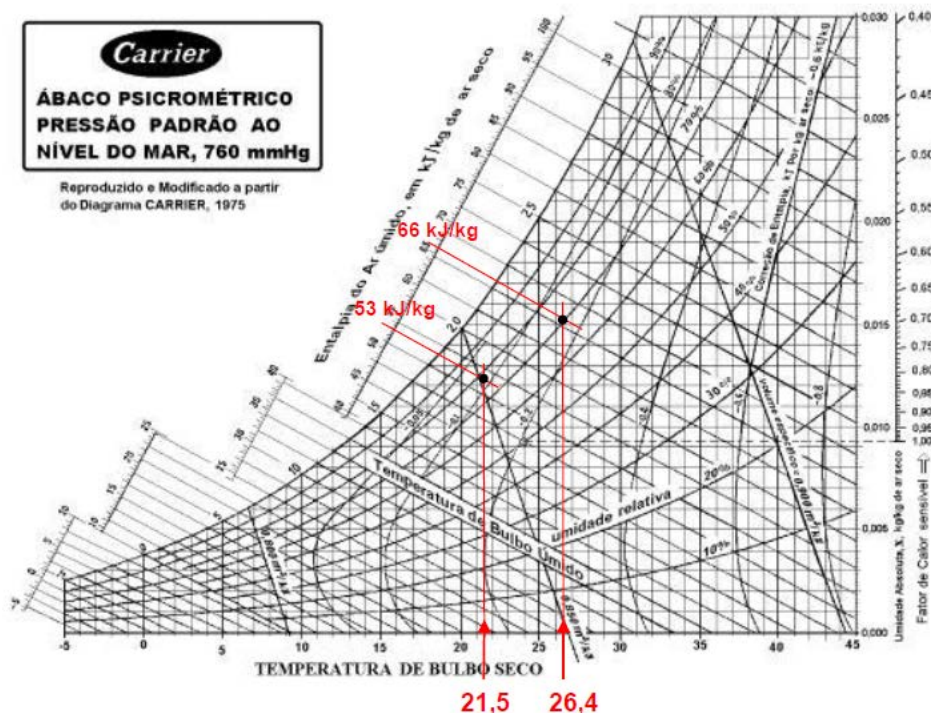




Figura 4: Marcação dos pontos de entrada e saída do evaporador (Fonte: CARRIER, 1975)

Aplicando a equação 1, foi encontrada a capacidade térmica do ar condicionado da bancada didática com o ar condicionado do tipo janela:

$$\text{Capacidade Térmica} = 580 \text{ (kg/h)} \times 3,1 \text{ (kcal/kg)}$$

$$\text{Capacidade Térmica} = 1.798 \text{ kcal/h}$$

Convertendo o resultado obtido na equação 1 em Btu/h, tem-se o valor de 7.135. Assim, este valor é a Capacidade Térmica do ar condicionado instalado na bancada didática. Ficando apenas 365 Btu/h abaixo do valor nominal informado pelo fabricante do ar condicionado. O resultado de aproximadamente 7.135 Btu/h corresponde 95% do valor informado pelo fabricante.

## Conclusão

Assim, verificou-se que o rendimento térmico do aparelho de ar condicionado da bancada didática existente no Laboratório de Refrigeração do IFFluminense – Campus Itaperuna, ficou aproximadamente 5% menor que o valor informado pelo fabricante. Essa variação demonstra que a instalação feita está correta e oferecerá uma refrigeração muito próxima do valor nominal.

Além disso, as condições ambientais no dia do teste podem ser diferentes das utilizadas nos testes do fabricante e, ainda, o fato de se tratar de um aparelho instalado em uma bancada e não em um ambiente real pode ter causado esta pequena diferença.

Como um complemento a este estudo, deve-se realizar a análise do superaquecimento e sub-resfriamento do aparelho de ar condicionado para verificar se o sistema está balanceado, ou seja, se está com a carga correta de fluido refrigerante e se a válvula de expansão termostática está regulada corretamente.

## Referências

BATIZ, EDUARDO C et al. **Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória.** Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/3967/396742037006.pdf>> Acesso em: 05 de agosto de 2018.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. United States**, 1970.

FIORELLI, AUGUSTO S. et al. **Avaliação de Estratégias para a Racionalização do Consumo de Energia em Edifícios com Ar Condicionado.** Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2001/A0708.pdf>>. Acesso em: 04 de agosto de 2018.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico em ambientes internos. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2003.** (Material didático para disciplina conforto térmico). Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/Resumo.asp?1250>>. Acesso em: 04 de agosto de 2018.

SILVA, L. B. **Análise da relação entre Produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados da Caixa Econômica Federal de Pernambuco.** Florianópolis, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/81915>>

SILVA, José Castro. **Refrigeração comercial e climatização industrial.** 1 ed. São Paulo: Hemus, 2011.

TAVEIRA, SANNE B. **Sistema de Ventilação com Resfriador de Ar Experimental.** Brasília. 2008. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/Resumo.asp?1250>>. Acesso em: 04 de agosto de 2018.

ÇENGEL, Yunus A. BOLES, Michael A. **Termodinâmica.** 7 ed. São Paulo: McGraw Hill, 2013.