

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**METODOLOGIA PARA
CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO
DE UNIDADES DE AR CONDICIONADO
TIPO JANELA**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Mecânica.

REGINALDO SOARES DE OLIVEIRA


RECIFE, 19 DE DEZEMBRO DE 2003.

“METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO DE UNIDADES
DE AR CONDICIONADO TIPO JANELA”.

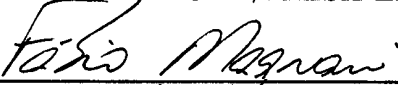
REGINALDO SOARES DE OLIVEIRA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

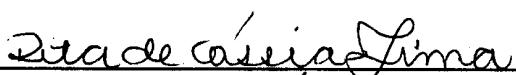
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSOS E SISTEMAS TERMICOS
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA/CTG/EEP/UFPE



Profa. Dra. ANA ROSA MENDES PRIMO
ORIENTADORA/PRESIDENTE

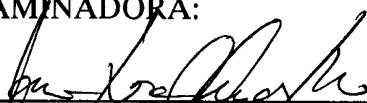


Prof. Dr. FÁBIO SANTANA MAGNANI
CO-ORIENTADOR



Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA FERNANDES DE LIMA
COORDENADORA DO CURSO

BANCA EXAMINADORA:



Profa. Dra. ANA ROSA MENDES PRIMO (UFPE)



Profa. Dra. FÁBIO SANTANA MAGNANI (UFPE)



Prof. Dr. JORGE RECARTE HENRIQUEZ GUERRERO (UFPE)



Prof. Dr. JOÃO PEEREIRA DE BRITO FILHO (UFPE)

*Cai muitas vezes, não posso mentir,
mas posso dizer, que as quedas que eu tive,
não foram derrotas, eu caí quando estive a subir.*

É muito Jovem Minha Oração - Pe. Zezinho

*Tenha firmeza em suas atitudes e persistência no seu ideal.
Mas seja paciente, não pretendendo que tudo lhe chegue de imediato,
há tempo para tudo.
E tudo o que é seu virá às suas mãos, no momento oportuno.
Saiba esperar o momento exato em que receberá os benefícios que pleiteia.
Aguarde com paciência que os frutos amadureçam para que possa apreciar
devidamente a sua doçura.*

Carlos Torres Pastorino

DEDICATÓRIA

*O nosso grande mérito está naqueles muitos troféus
que conseguimos ao longo de nossa vida
e que só nós sabemos disso. Mas, a maior parte destes
troféus foram conseguidos através de minha família.*

*Sempre tive dúvida entre morena e loira. Hoje tenho as duas.
Minha esposa ELIANA e minha filha CAROLYNE,
o nosso amor me estimula a transformar sonhos em realidade.
E você FELIPE, meu filho, é a nossa mais nova realidade.*

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, por tudo. "O Senhor é minha luz, proteção da minha vida". Porque ter medo de caminhar? Sei que "Os que põe sua esperança em Javé renovam as suas forças, formam asas como as águias, correm e não se cansam". **Is. 40, 31.**

À minha família, representada pelos **meus pais José Soares de Oliveira e Eva Cândida de Oliveira**, por tantas coisas que levaria uma vida inteira para contar.

À **Profª Ana Rosa Mendes Primo e ao Prof. Fábio Santana Magnani**, pela maneira sincera e fraterna com que me orientaram durante a elaboração desse trabalho e com a qual eu tenho o maior orgulho de ter sido orientado. O nosso convívio contribuiu muito, sem dúvida, para o meu crescimento profissional e como ser humano.

Ao **Prof. Jorge R. Henríquez**, pelas orientações valiosas para o desenvolvimento do experimento.

Ao **Engenheiro Sérgio Roberto Botelho Barreto Campello**, pela grande contribuição na construção do equipamento do experimento, principalmente na parte financeira e na eletroeletrônica.

A **Gilson Soares de Araújo Pinheiro**, estagiário da empresa **TMS – Tecnologia de Micro-sistemas**, cujo proprietário é o Sr. Sérgio Campello, pela presença contínua e considerável contribuição no desenvolvimento do equipamento, desde o início do projeto.

Aos amigos de mestrado **Diogo, Jacek e Pedro Linhares** pela contribuição na fase de programação do software DeLogger.

À **Universidade Federal de Pernambuco**, nos seus diversos departamentos, especialmente aos colegas do Departamento de Engenharia Mecânica e dos colegas de curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, pelo apoio recebido durante o meu trabalho.

Ao **CEFET – RECIFE e CEFET - PETROLINA**, pela oportunidade que me foi concedida e pela liberação de minhas atividades como docente para a realização desse trabalho.

À **Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES**, pelo apoio financeiro através da bolsa e auxílio ao longo do curso e do período de execução do trabalho.

Nas minhas andanças quilométricas, espalho fragmentos da vida porque sei que meu ofício é buscar, conquistar a felicidade e reparti-la com todos que estejam à minha volta. Assim, me fortaleço a cada parada, amparado pelo prazer de sempre ter amigos.

Um dos grandes prazeres da vida é ter a oportunidade de agradecer as pessoas que colaboram, que são gentis, que reconhecem o empenho, que atendem ou que criticam de forma inteligente o seu trabalho. Em todas as minhas conquistas sempre tive pessoas que me ajudaram. Cada uma ao seu modo. A minha gratidão a todos que contribuíram para realização desta dissertação.

RESUMO

A finalidade deste trabalho é avaliar as condições de funcionamento de unidades condicionadoras de ar tipo janela através de uma metodologia para caracterização de seu desempenho. Com este alvo, foi planejado e construído um túnel de ensaio climatizado (TEC), atendendo aos padrões e normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para testes em aparelhos deste tipo.

A metodologia desenvolvida expõe um roteiro prático das características de funcionamento de equipamentos e/ou instrumentos que fazem parte, direta ou indiretamente, do calorímetro confeccionado e do experimento em si. A forma construtiva do experimento permite definir resultados diversos para estipular a eficiência dos aparelhos condicionadores de ar tipo janela, pois as propriedades psicrométricas e/ou termodinâmicas são simuladas no túnel de ensaio.

O túnel de ensaio climatizado (TEC) foi planejado como uma estrutura em módulos, o que facilita tanto a manipulação de equipamentos e/ou instrumentos, como a manutenção preventiva ou corretiva, sem que toda estrutura seja danificada. Este tipo de concepção permite a remoção ou o adicionamento de módulos, possuindo extrema praticidade. Cada módulo do túnel foi projetado com uma finalidade específica. Dentro dos módulos, foram medidas grandezas como temperatura, vazão, pressão e umidade do ar.

A unidade condicionadora de ar utilizada, um aparelho com capacidade de refrigeração com 7.500 BTU/h (2.197,5 W), foi monitorada para que características como capacidade de refrigeração (q_e), coeficiente de performance (COP) e relação de eficiência da energia (EER) fossem determinadas para diversas condições de funcionamento.

Além de apresentar uma metodologia para procedimentos e medições no TEC, da unidade condicionadora de ar e das medições para cálculo do q_e , COP e EER, o presente trabalho é complementado com conceitos e normas de conforto ambiental e um estudo sobre funcionamento, programa de uso e manutenção em unidades condicionadoras de ar tipo janela.

ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the functioning conditions of window air conditioning units through a methodology to characterize their performance. With this purpose, a climatized essay tunnel (TEC) was planned and built, attending the pattern and norms of ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) to test window air conditioning units.

The developed methodology shows a practical script of the functioning characteristics of equipments and/or instruments that take part, direct or indirectly, of the built calorimeter and of the own experiment. The way the experiment was built allows the definition of several results to estimate the efficiency of window units, because the psychrometric and/or thermodynamical properties are simulated in the essay tunnel.

The TEC was planned as a structure built ion blocks, which facilitates the manipulation of equipments and/or instruments, as well as the preventive and the corrective maintenance modules, having extreme practicality. Each block of the tunnel was projected with a specific purpose. Inside of the tunnel blocks properties as temperature, pressure, flow rate and air humidity were measured.

The analysed air conditioning unity, an apparatus with capacity of refrigeration of 7.500 BTU/h (2.197,5 Watts), was monitored to allow the evaluation of characteristics as capacity of refrigeration, (q_e), coefficient of performance (COP) and Energy Efficiency Relation (EER) to several functioning conditions.

Besides of presenting a methodology of procedure and measurement inside the TEC and procedures to evaluate q_e , COP and EER, the present work is completed with concepts and standards of ambiantal comfort. An indication for better use and maintenance of window units is also presented in this work.

ABREVIATURAS

Agência Nacional de Energia Elétrica	ANNEL
Associação Brasileira de Normas Técnicas	ABNT-NBR
Associação Brasileira de Ventilação, Aquecimento e Ar Condicionado	ABRAVA
Banco de Informação de Geração	BIG
Banco de Informações de Geração	BIG
Central Geradora de Eolielétrica	EOL
Central Geradora de Hidrelétrica	CGH
Centro Federal de Educação Tecnológica	CEFET
Coefficiente Operacional	COP
Condicionador de ar tipo janela	ACJ
Conselho Americano para uma Economia de Energia Eficiente	ACEEE
Departamento de Engenharia Mecânica	DEMEC
Efeito Frigorígeno	EF
Efeito Refrigerante	ER
Estados Unidos da América	EUA
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	IBGE
Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Físicas	LMPT
Laboratório de Vapor e Refrigeração	LAFRIG
Ministério de Minas e Energia	MME
Modulação por largura de pulso	PWM
Nível Metabólico	Met
Organização Internacional de Normatização	ISSO
Pequena Central Hidrelétrica	PCH
Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica	PROCEL
Relação de Eficiência Energética	EER
Sociedade Americana de Engenharia de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado	ASHRAE
Sociedade Americana de Engenharia Mecânica	ASME
Temperatura de Bulbo Seco	TBS
Temperatura de Bulbo Úmido	TBU
Temperatura de Ponto de Orvalho	TPO
Túnel de Ensaio Climatizado	TEC
Umidade Relativa	UR
Unidade Térmica Britânica	BTU
Universidade Federal de Pernambuco	UFPE
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS
Usina Hidrelétrica de Energia	UHE
Usina Termoelétrica de Energia	UTE
Usina Termo-nuclear	UTN

SIGLAS E SÍMBOLOS

Altitude, m.	Z
Altura, m.	L
Área superficial de transmissão de calor, m ² .	A
Calor absorvido no Túnel de Ensaio Climatizador – TEC, W.	q _{ganho}
Calor rejeitado no condensador, W.	q _c
Capacidade de refrigeração, W.	Q _e
Capacitância elétrica, μF.	C
Coeficiente de transmissão de calor do filme externo através da convecção natural, W/m.K.	α _{ext}
Coeficiente de transmissão de calor do filme interno através da convecção forçada, W/m.K.	α _{int}
Coeficiente de transmissão de calor por convecção da chapa galvanizada, W/m.K.	k _{chapa}
Coeficiente de transmissão de calor por convecção do isopor, W/m.K.	k _{isopor}
Coeficiente operacional.	β _o
Coeficiente volumétrico de expansão térmica, 1/K.	β
Comprimento, m.	C
Condutividade térmica, W/m.K.	k
Corrente elétrica, A.	I _{elétrica}
Densidade do ar, kg/m ³ .	ρ
Diâmetro hidráulico, m.	D _H
Diferença de temperatura, K.	ΔT
Entalpia do ar de insuflação, kJ/kg.	h _{ins}
Entalpia do ar de retorno, kJ/kg.	h _{ret}
Entalpia específica da mistura, kJ/kg.	H
Entalpia total da mistura, kJ/kg.	H
Espessura da chapa galvanizada, m.	esp _{chapa}
Espessura do isopor, m.	esp _{isopor}
Fluxo mássico ou vazão mássica, kg/s.	m _f
Fluxo volumétrico ou vazão volumétrica, m ³ /s.	Q _f
Grau de saturação	G _{sat}
Gravidade atmosférica, m ² /s.	g
Largura, m.	w
Massa de vapor de água presente na mistura, kg.	m _v
Massa de vapor de ar seco presente na mistura, kg.	m _a
Número de Nusselt.	Nu
Número de Prandtl.	Pr
Número de Reynolds.	Re
Perímetro, m.	P
Potência elétrica, W.	P _{elétrica}
Potência teórica do compressor, W.	W _c
Pressão atmosférica, kPa.	P _{atm}
Pressão parcial de ar seco, kPa.	P _a
Pressão parcial de vapor, kPa.	P _v
Pressão total, kPa.	P
Taxa metabólica em função da atividade desempenhada.	M
Temperatura ambiente, °C.	T _∞
Temperatura de condensação, °C.	T _c
Temperatura de evaporação, °C.	T _e

SIGLAS E SÍMBOLOS

Temperatura do ar, °C.	T_a
Temperatura do globo, °C.	t_g
Temperatura radiante média, °C.	T_{rm}
Tensão elétrica, V.	$V_{elétrica}$
Termopar número 13 instalado na tubulação de descarga do compressor.	DESC_13
Termopar número 14 instalado na tubulação de saída do condensador.	Scond_14
Termopar número 15 instalado na tubulação de entrada do tubo capilar.	ETcap_15
Termopar número 16 instalado na tubulação de saída do tubo capilar.	STcap_16
Termopar número 17 instalado na tubulação de entrada do evaporador.	EEvap_17
Termopar número 18 instalado na tubulação do evaporador.	Evap_18
Termopar número 19 instalado na tubulação de saída do evaporador.	SEvap_19
Termopar número 20 instalado na tubulação de entrada do condensador.	ECond_20
Termopar número 21 instalado na tubulação de sucção do compressor.	SUC_21
Termopar número 22 instalado na tubulação do condensador.	Cond_22
Termopar.	T_p
Transmissão de calor no dispositivo de expansão, W.	q_{DE}
Umidade absoluta do ar, kg/kg.	ω
Umidade relativa, %.	ϕ
Velocidade do ar ao nível do globo, m/s.	V_{ag}
Velocidade do ar com relação a uma pessoa imóvel, velocidade absoluta, m/s.	V_a
Velocidade do ar, m/s.	V_{ar}
Velocidade média, m/s.	U
Viscosidade absoluta, N.s/m ² .	μ
Volume específico, m ³ /kg.	V_{esp}

ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1.0 – INTRODUÇÃO

Figura 1.1 – Vista externa do calorímetro do tipo calibrado e de ambiente balanceado.	03
Figura 1.2 – Calorímetro do tipo calibrado e de ambiente balanceado.	04
Figura 1.3 – Calorímetro do tipo psicrométrico do LAFRIG – UFRGS.	07
Figura 1.4 – Calorímetro do tipo psicrométrico (ABNT-NBR13033).	07
Figura 1.5 – Túnel de ensaio climatizador –TEC (vista superior).	12
Figura 1.6 – Túnel de ensaio climatizador –TEC (com vista lateral).	12

CAPÍTULO 2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 2.1 – Lavador de ar.	15
Figura 2.2 – Unidade condicionadora de ar tipo janela.	16
Figura 2.3 – Área corporal de uma pessoa em função da altura e do peso.	18
Figura 2.4 – Psicrômetro rotativo.	23
Figura 2.5 – Psicrômetro de aspiração.	23
Figura 2.6 – Indicação quanto ao modo de utilização de um diagrama psicrométrico.	25
Figura 2.7 – Carta psicrométrica ao nível do mar.	25
Figura 2.8 – Diagrama pressão versus entalpia do ciclo de refrigeração.	26
Figura 2.9 – Desenho de um evaporador, volume de controle aplicado ao evaporador e a indicação do processo 4-1 no diagrama de pressão versus entalpia.	27
Figura 2.10 – Desenho de um compressor alternativo, volume de controle no compressor e processo de compressão isentrópico 1-2 no diagrama de pressão versus entalpia.	27
Figura 2.11 – Desenho de um condensador, volume de controle sobre o condensador e a indicação do processo 2-3 no diagrama de pressão versus entalpia.	28
Figura 2.12 – Desenho de um tubo capilar, volume de controle sobre o tubo capilar e indicação do processo 3-4 no diagrama de pressão versus entalpia.	28

CAPÍTULO 3.0 – TÚNEL DE ENSAIO CLIMATIZADOR – TEC

Figura 3.1 – Túnel de Ensaio Climatizador em forma de “U” para condicionador de ar tipo janela.	31
Figura 3.2 – Módulo 1 – Laminador I.	31
Figura 3.3 – Módulo 2 – Medidor de insuflação.	31
Figura 3.4 – Módulo 3 – Bateria de resistências.	32
Figura 3.5 – Módulo 4 – Laminador II.	32
Figura 3.6 – Módulo 5 – Medidor de velocidade do interior do TEC.	32
Figura 3.7 – Módulo 7 – Sistema de umidificação.	33
Figura 3.8 – Módulo 8 – Exaustor.	33
Figura 3.9 – Módulo 9 – Laminador III.	33
Figura 3.10 – Módulo 10 – Medidor de retorno.	33

CAPÍTULO 4.0 – NORMAS PARA CONSTRUÇÃO DE CALORÍMETROS

Figura 4.1 – Bocal para medir a vazão de ar recirculado.	35
--	----

ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 5.0 – MEDIÇÕES BÁSICAS

Figura 5.1 – Pontos de fixação dos termopares tipo “T” no ciclo de refrigeração do ACJ.	38
Figura 5.2 – Sensor de umidade do tipo capacitivo.	39
Figura 5.3 – Gráfico de umidade (%) versus capacitância elétrica (pF).	39
Figura 5.4 – Alicates amperímetro, marca ICEL – Modelo AD-9030.	40
Figura 5.5 – Termo-anemômetro de fio quente AIRFLOW TA-4.	41
Figura 5.6 – Forma de medição da velocidade no ACJ.	42
Figura 5.7 – Forma de medição da velocidade em duto.	42
Figura 5.8 – Forma de medição da velocidade no TEC.	42
Figura 5.9 – Regulador de potência deslizante, marca Pinnola, modelo DD400 (Dimmer).	43
Figura 5.10 – Vasilhame isolado termicamente.	43
Figura 5.11 – Data-Taker 605.	44
Figura 5.12 – Gráficos do DeLogger.	44
Figura 5.13 – Definições dos parâmetros das propriedades físicas.	45
Figura 5.14 – Sensor de umidade do tipo capacitivo desenvolvido pela UFSC.	45
Figura 5.15 – Instrumento portátil para medição de umidade relativa e temperatura ambiente, marca IOPE, modelo, IOPHYGRO51.	46

CAPÍTULO 6.0 – METODOLOGIA

Figura 6.1 – Propriedades psicrométricas do ar de insuflação no interior do TEC – 11/12/2003 – 17:18:30.	49
Figura 6.2 – Propriedades psicrométricas do ar de retorno no interior do TEC – 11/12/2003 – 17:18:30.	49
Figura 6.3 – Propriedades psicrométricas do ar de insuflação no interior do TEC – 11/12/2003 – 18:00.	50
Figura 6.4 – Propriedades psicrométricas do ar de retorno no interior do TEC – 11/12/2003 – 18:00.	50
Figura 6.5 – Propriedades psicrométricas do ar de insuflação no interior do TEC – 11/12/2003 – 17:55:17.	51
Figura 6.6 – Propriedades psicrométricas do ar de retorno no interior do TEC – 11/12/2003 – 17:55:17.	51
Figura 6.7 – Propriedades psicrométricas do ar de insuflação no interior do TEC – 11/12/2003 – 19:13:35.	52
Figura 6.8 – Propriedades psicrométricas do ar de retorno no interior do TEC – 11/12/2003 – 19:13:35.	52
Figura 6.9 – Propriedades psicrométricas do ar de insuflação no interior do TEC – 11/12/2003 – 19:13:30.	53
Figura 6.10 – Propriedades psicrométricas do ar de retorno no interior do TEC – 11/12/2003 – 19:13:30.	53
Figura 6.11 – Condições de transmissão de calor no TEC.	55

ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 7.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 7.1 – Gráficos capturados pelo programa desenvolvidos no Delogger.	59
Figura 7.1a – Temperatura de retorno do ar do ACJ, no TEC.	58
Figura 7.1b – Temperatura de insuflação do ar do ACJ, no TEC.	58
Figura 7.1c – Temperatura do ciclo de refrigeração do ACJ no experimento.	58
Figura 7.1d – Umidade relativa do ar no retorno e na insuflação do ACJ no experimento.	59
Figura 7.2 – Valores de velocidades de insuflação no interior do TEC.	59
Figura 7.3 – Vista do retorno do ar no TEC, em corte.	59
Figura 7.4 – Vista da insuflação do ar no TEC, em corte.	59
Figura 7.5 – Temperatura de insuflação no interior do TEC (902 W).	60
Figura 7.6 – Temperatura de insuflação no interior do TEC (1.573,5 W).	60
Figura 7.7 – Temperatura de insuflação no interior do TEC (2.272,4 W).	61
Figura 7.8 – Temperatura de retorno no interior do TEC (902 W).	61
Figura 7.9 – Temperatura de retorno no interior do TEC (1.573,5 W).	61
Figura 7.10 – Temperatura de retorno no interior do TEC (2.272,4W).	62
Figura 7.11 – Umidade relativa do ar no interior do TEC (902 W).	62
Figura 7.12 – Representação das condições da umidade relativa do ar no interior do TEC (902 W).	63
Figura 7.13 – Umidade relativa do ar no interior do TEC (1.573,5 W)	63
Figura 7.14 – Representação das condições da umidade relativa do ar no interior do TEC (1.573,5 W).	64
Figura 7.15 – Umidade relativa do ar no interior do TEC (2.272,4 W).	64
Figura 7.16 – Representação das condições da umidade relativa do ar no interior do TEC (2.272,4 W).	65
Figura 7.17 – Temperaturas do ciclo de refrigeração do condicionador de ar tipo janela (902).	65
Figura 7.18 – Temperaturas do ciclo de refrigeração do condicionador de ar tipo janela (1.573,5 W).	66
Figura 7.19 – Temperaturas do ciclo de refrigeração do condicionador de ar tipo janela (2.272,4 W).	66

TABELAS

CAPÍTULO 1.0 – INTRODUÇÃO

Tabela 1.1 – Fontes de energia elétrica no Brasil.	01
Tabela 1.2 – Dimensões dos calorímetros do tipo calibrado e de ambiente balanceado.	05
Tabela 1.3 – Variações admitidas nas leituras para determinação da capacidade térmica total.	05
Tabela 1.4 – Vantagens e desvantagens dos calorímetros do tipo calibrado e de ambiente balanceado, e do tipo psicrométrico.	08

CAPÍTULO 2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 2.1 – Pressões correspondentes à altitude e temperatura.	21
Tabela 2.2 – EER de unidades condicionadoras de ar tipo janela.	30

CAPÍTULO 5.0 – MEDIÇÕES BÁSICAS

Tabela 5.1 – Características do alicate amperímetro, marca ICEL, Modelo AD-9030.	40
Tabela 5.2 – Características do termo-anemômetro de fio quente AIRFLOW-TA4.	41
Tabela 5.3 – Características do termômetro de vidro, marca Cole-Parmer Instrument.	43
Tabela 5.4 – Características da umidade do termo-higrômetro do tipo fio quente, marca IOPE, modelo IOPHYGRO51.	46
Tabela 5.5 – Características da temperatura do termo-higrômetro do tipo fio quente, marca IOPE, modelo IOPHYGRO51.	46

CAPÍTULO 6.0 – METODOLOGIA

Tabela 6.1 – Dados psicrométricos do ar capturados no TEC e na carta psicrométrica.	54
Tabela 6.2 – Valores do Coeficiente “m” correspondentes ao número de Rayleigh.	56
Tabela 6.3 – Valores de Coeficiente “C” correspondentes ao número de Rayleigh..	56
Tabela 6.4 – Valores do COP para diferentes condições de operação da unidade condicionadora de ar tipo janela estudada no experimento.	57
Tabela 6.5 – Valores do EER para diferentes condições de operação da unidade condicionadora de ar tipo janela estudada no experimento.	57

EQUAÇÕES

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Equação 2.1 – Umidade absoluta do ar.	19
Equação 2.2 – Definição da umidade absoluta do ar.	19
Equação 2.3 – Velocidade relativa do ar.	19
Equação 2.4 – Temperatura radiante média na convecção natural.	20
Equação 2.5 – Temperatura radiante média na convecção forçada.	20
Equação 2.6 – Pressão atmosférica.	21
Equação 2.7 – Umidade relativa (fração molar de vapor d'água).	23
Equação 2.8 – Umidade relativa (pressão parcial de vapor d'água).	23
Equação 2.9 – Grau de saturação.	23
Equação 2.10 – Volume específico.	23
Equação 2.11 – Entalpia total da mistura.	24
Equação 2.12 – Capacidade frigorífica do ciclo de refrigeração.	27
Equação 2.13 – Efeito refrigerante.	27
Equação 2.14 – Potência do compressor.	27
Equação 2.15 – Calor rejeitado no condensador.	28
Equação 2.16 – Vazão mássica de vapor refrigerante.	28
Equação 2.17 – Vazão volumétrica de vapor refrigerante.	29
Equação 2.18 – Coeficiente operacional - COP.	29
Equação 2.19 – Relação de eficiência energética - EER.	29

CAPÍTULO 4.0 – NORMAS PARA CONSTRUÇÃO DE CALORÍMETROS

Equação 4.1 – Capacidade de refrigeração (Calor total), conforme ABNT.	36
--	----

CAPÍTULO 5.0 – MEDIÇÕES BÁSICAS

Equação 5.1 – Potência elétrica.	40
----------------------------------	----

CAPÍTULO 6.0 – METODOLOGIA

Equação 6.1 – Ganho de calor, conforme ABNT.	48
Equação 6.2 – Número de Nusselt.	54
Equação 6.3 – Número de Reynolds.	54
Equação 6.4 – Número de Prandtl.	54
Equação 6.5 – Diâmetro hidráulico.	54
Equação 6.6 – Coeficiente de transmissão de calor por convecção forçada.	54
Equação 6.7 – Coeficiente de transmissão de calor por convecção natural.	55
Equação 6.8 – Coeficiente “ a ”, conforme propriedades do ar.	56

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
ABREVIATURAS	viii
SIGLAS E SÍMBOLOS	ix
ILUSTRAÇÕES	xi
TABELAS	xiv
EQUAÇÕES	xv
SUMÁRIO	xvi
CAPÍTULO 1.0 INTRODUÇÃO	01
1.1 – Formulação do problema	03
1.2 – Justificativa	09
1.3 – Objetivos	11
1.4 – Proposta	12
1.5 – Estrutura do trabalho	14
CAPÍTULO 2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 – Condicionador de ar no contexto histórico	15
2.2 – Parâmetros que influenciam a sensação de conforto térmico	16
2.2.1 – Parâmetros pessoais ou individuais	17
2.2.1.1 – Tipo de atividade	17
2.2.1.2 – Vestuário ou vestimenta	18
2.2.2 – Parâmetros físicos ou ambientais	18
2.2.2.1 – Temperatura do ar	18
2.2.2.2 – Umidade relativa do ar	19
2.2.2.3 – Velocidade do ar	19
2.2.2.4 – Temperatura radiante média	20
2.3 – Psicrometria	20
2.3.1 – Variáveis psicrométricas	21
2.3.2 – Carta psicrométrica	24
2.4 – Parâmetros utilizados no estudo de unidades condicionadoras de ar tipo janela	26
2.4.1 – Diagrama pressão versus entalpia	26
2.4.2 – Balanço de energia para o ciclo de refrigeração	26
2.4.2.1 – Capacidade frigorífica do ciclo de refrigeração (q_e)	26
2.4.2.2 – Potência teórica do compressor (\dot{W}_C)	27
2.4.2.3 – Calor rejeitado no condensador (q_C)	28
2.4.2.4 – Dispositivo de expansão	28
2.4.2.5 – Vazão de vapor refrigerante em massa e volume	28
2.4.2.6 – Coeficiente operacional, desempenho ou performance	29
2.4.2.7 – Relação de eficiência energética	29
CAPÍTULO 3.0 – TÚNEL DE ENSAIO CLIMATIZADOR – TEC	31
3.1 – Proposta da montagem de dutos em forma de “U” – TEC	31

SUMÁRIO

CAPÍTULO 4.0 – NORMAS PARA CONSTRUÇÃO DE CALORÍMETRO	34
CAPÍTULO 5.0 – MEDIÇÕES BÁSICAS	37
5.1 – Seleção dos instrumentos	37
5.2 – Temperatura	37
5.2.1 – Temperatura de Bulbo Seco - TBS	37
5.2.2 – Forma para medição da temperatura de bulbo seco (TBS)	37
5.2.3 – Temperatura do fluido refrigerante do ciclo de refrigeração	38
5.2.4 – Forma para medição da temperatura do fluido refrigerante	38
5.3 – Umidade relativa	39
5.3.1 – Instrumento para medição da umidade relativa	39
5.4 – Potência elétrica	40
5.5 – Vazão de ar dentro do Túnel de Ensaio Climatizador – TEC	41
5.6 – Calibração e aferição de instrumentos	42
5.6.1 – Aferição de termopares	43
5.6.2 – Calibração e aferição do sensor de umidade do tipo capacitivo	45
5.6.3 – Calibração e aferição do alicate amperímetro	46
5.6.4 – Calibração e aferição do termo-anemômetro do tipo fio quente	47
5.7 – Sistema de aquisição de dados	47
CAPÍTULO 6.0 – METODOLOGIA	48
6.1 – Metodologia proposta	48
6.2 – Cálculo das características do condicionador de ar	48
6.2.1 – Capacidade de refrigeração	48
6.2.2 – Coeficiente de performance (COP)	56
6.2.3 – Relação de eficiência energética (EER)	57
CAPÍTULO 7.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
7.1 – Análise gráfica	58
CAPÍTULO 8.0 – CONCLUSÕES	67
CAPÍTULO 9.0 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS DA BIBLIOGRAFIA	69
ANEXOS	72