

## SOFTWARE PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA E DIMENSIONAMENTO DE DUTOS DE REFRIGERAÇÃO PARA FINS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Rubem C.R. Souza, Carlos A.S. Nogueira e Ozeney S. Silva

Universidade Federal do Amazonas  
Av. Gal. Rodrigo Octávio J. Ramos, 3000 – CEP 60070-000  
Fone/Fax (092)644-2194 – E-mail: [rcesar@lexxa.com.br](mailto:rcesar@lexxa.com.br)  
Manaus – AM – Brasil

### RESUMO

*O atual estágio em que se encontra os sistemas elétricos na Amazônia está exigindo uma grande mobilização, por parte de órgãos governamentais, no sentido de garantir o suprimento da demanda regional à níveis satisfatórios. A Universidade do Amazonas, cumprindo seu papel, vem tentando contribuir para a solução desse problema, seja através da capacitação de recursos humanos na área de sistemas energéticos, seja no desenvolvimento de trabalhos de pesquisa. Tendo em vista que grande parte da energia consumida na Amazônia deve-se a equipamentos de climatização de ambientes, desenvolveu-se um software, objeto desse informe técnico, com apoio financeiro do Instituto Euvaldo Lodi – IEL/AM, o qual possibilita o cálculo da carga térmica, bem como a simulação do comportamento dessa grandeza, ao longo do dia e mês; criando assim, possibilidades reais de avaliar e gerenciar essas instalações, de maneira prática e eficaz. Dessa forma, torna-se um precioso instrumento para o uso racional de energia elétrica. Vale salientar ainda, que esse software possibilita também o dimensionamento dos dutos das instalações de climatização de ambientes.*

### INTRODUÇÃO

As questões ambientais, associadas com àquelas de natureza econômica-financeira, tem sido as responsáveis pelo retorno das ações de melhoria da eficiência dos sistemas energéticos.

Na região Amazônica, tais questões tornam-se determinantes na gestão do setor elétrico, seja pelo fato da importância ambiental da Amazônia brasileira, seja pela acentuada escassez de recursos financeiros.

O fato da região Amazônica possuir temperaturas e umidades elevadas ao longo de todo o ano, faz com que o consumo de energia elétrica, no uso de equipamentos de ar condicionado, seja relativamente alto. Associado a esse aspecto climático, tem-se ainda, o fato do comportamento descompromissado das empresas que fornecem e instalam equipamentos para esse fim, as quais se mostram completamente alheias aos danos que podem causar, seja aos usuários seja ao sistema elétrico em geral, haja visto os critérios adotados pelas mesmas, para especificar equipamentos e instalações; incipientes e inadequados a realidade amazônica.

Analisando esse problema do ponto de vista da gestão pelo lado da demanda, resolveu-se desenvolver um programa computacional que além de possibilitar o cálculo da carga térmica, elemento fundamental para a especificação dos equipamentos e instalações em geral para conforto térmico, este deveria ser capaz também, de gerar curvas de carga térmica diárias e mensais, de modo a possibilitar o estabelecimento de uma estratégia de gerenciamento eficiente das diversas unidades que estivessem sendo utilizadas para climatizar uma edificação.

Esse software, denominado “Térmica3”, apesar de não estar em sua versão final, já foi testado na avaliação das instalações de algumas empresas instaladas no Distrito Industrial de Manaus/AM.

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Alguns conceitos se fazem necessários para o entendimento da estrutura do software, sendo estes apresentados a seguir:

#### Condicionamento do ar

O condicionamento do ar é um processo que visa o controle simultâneo, num ambiente delimitado, da pureza, umidade, temperatura e movimentação (velocidade) do ar.

#### Calor sensível e latente

O calor sensível é a quantidade de calor que deve ser acrescentada ou retirada de um recinto devido a diferença de temperatura entre o exterior e o interior, afim de fornecer as condições de conforto desejadas. Este calor é introduzido no recinto de diversas maneiras: por condução, pelo sol diretamente, pelas pessoas, pela iluminação, pelo ar exterior, etc.

Calor latente é o calor que causa a mudança de uma substância de um estado para outro, ou da estrutura molecular à pressão e temperaturas constantes.

#### Carga Térmica

A carga térmica é o calor (sensível e latente) a ser fornecido ou extraído, do aparelho de ar condicionado, por unidade de tempo, de modo a manter no recinto as condições desejadas. Esta varia normalmente com o tempo, pois os fatores que nela influem (temperatura externa, número de pessoas, insolação, etc.), variam ao longo do dia.

#### Psicrometria

A psicrometria é o estudo das misturas de ar e vapor d'água. Em ar condicionado o ar não é seco, mas sim uma mistura de ar e vapor de água, resultando daí a importância da psicrometria. Em alguns processos a água é removida do ar, enquanto em outros é adicionada.

No estudo e especificação de ar condicionado, é o estudo

psicrométrico que irá determinar as descargas de ar de insuflamento (vazão de ar a ser injetada no recinto), descargas de ar de retorno, a temperatura de insuflamento e quais devem ser os componentes que constituem o condicionador de ar.

### ESTRUTURA DO SOFTWARE

O Têrmica3 foi desenvolvido em linguagem C++, sendo inteiramente interativo com o usuário, através do teclado.

Sua concepção seguiu as recomendações da NBR 6401, que especifica as condições mínimas necessárias, para que se possa obter resultados satisfatórios em instalações de unidades de ar condicionado. A metodologia utilizada foi a do manual de ar condicionados Carrier, e a literatura utilizada é a constante da referencia bibliográfica deste informe técnico.

A tela de abertura do software Têrmica3, ver Figura 2, possui 5 opções para escolha que estão estruturados para seguir a seqüência de cálculo, apresentada na Figura 1.

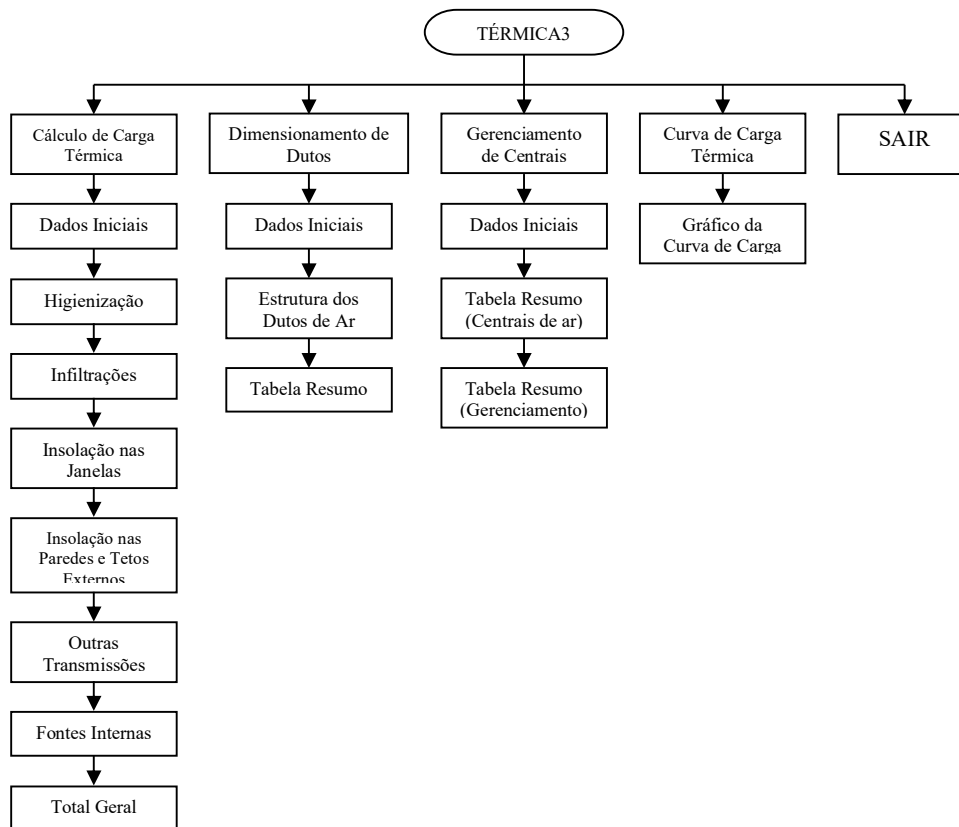


Figura 1. Estrutura do software Têrmica3

A seguir são apresentados os módulos e tópicos que constituem o software “TERMICA3”.

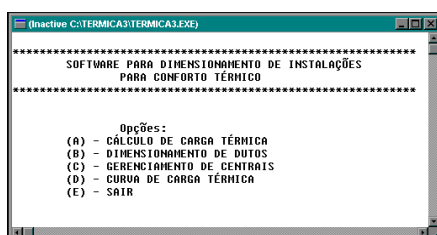


Figura 2. Tela do menu de abertura do software Termica3

### Cálculo de Carga Térmica

O módulo de Cálculo de Carga Térmica, cuja tela inicial está na Figura 3, propicia o cálculo da carga térmica de um ambiente. Será requisitado, através da tela do computador, que o usuário entre com alguns dados.

O item "Dados Iniciais" refere-se às dimensões do local onde devem ser digitados a largura, o comprimento e o pé direito (distância do solo ao teto), todos em metros. Também será requisitado a hora do dia em que realizar-se-á o cálculo

da carga térmica do ambiente, este dado estará disponível no intervalo de 0 às 24 horas. Os período de realização do cálculo para a carga térmica compreende os meses de janeiro a dezembro. A variação diária da temperatura externa do local deve variar entre 7°C e 13 °C para a região Amazônica. Para as condições internas são requisitados a temperatura de bulbo seco (em °C) que é a temperatura a qual deseja-se climatizar o ambiente (para a cidade de Manaus esta temperatura está no intervalo entre 21°C e 25 °C), e, a umidade relativa do ar (em percentagem).

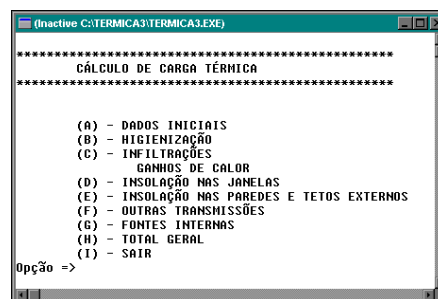


Figura 3. Tela com as opções para o cálculo da Carga Térmica

No item "Higienização" deve-se informar o número de pessoas que ocupam o ambiente e o tipo de atividade do local (o software fornece uma tabela com várias opções). No final desta seção obtêm-se a vazão de higienização para o local, em m<sup>3</sup>/h.

No item "Infiltrações" será questionado se o ambiente em questão possui ou não janelas. No caso afirmativo serão mostrados os modelos (janelas e portas) juntamente com nível de ajuste das mesmas (objetiva a verificação de possíveis frestas). Logo em seguida informa-se a quantidade total de frestas existentes devido a todas as janelas, em metros. O mesmo ocorre com as portas. Após esta etapa, deve-se entrar com o tipo de porta existente juntamente com a periodicidade de seu uso e a sua superfície, em metros. No caso de haver portas abertas no ambiente deve-se indicar o espaço entreaberto, em cm. No final desta seção é mostrado a vazão total de infiltração, em m<sup>3</sup>/h.

O item "Insolação nas Janelas" solicita informações sobre a existência de incidência direta do sol sobre alguma janela no horário inicialmente estipulado para cálculo da carga térmica. No caso de haver, deve-se indicar sua orientação cardinal e em seguida a área envidraçada desta janela, em metros quadrados. É ainda questionado se a janela possui algum tipo de proteção (persiana, cortina, veneziana) e sua descrição (conforme tabela apresentada pelo software), e, o tipo de vidro. No final desta seção obtêm-se o ganho de calor da janela em questão e o ganho de calor total acumulado de todas as janelas. Quando terminado o questionamento para a primeira janela é perguntado se existe outra janela que recebe incidência dos raios solares, se existir o questionamento (já apresentado neste parágrafo) é reiniciado até que a resposta seja negativa.

No item "Insolação nas Paredes" o questionamento assemelha-se muito ao realizado com as insolações nas janelas. Iniciando com a confirmação de haver ou não parede voltada para o meio exterior, sua orientação cardinal, área de sua superfície, excluindo portas e janelas (em metros quadrados), cor e tipo de construção da parede (madeira, tijolo, concreto), a espessura (em mm), tipo do revestimento (embuço com cimento, etc.) e as faces (externa ou interna). No final desta seção é apresentado o ganho de calor da parede em questão, juntamente com o ganho de calor total acumulado de todas as paredes. Quando terminado o questionamento para cada parede é perguntado se existe outra parede voltada para o meio exterior, se existir, o questionamento já apresentado neste parágrafo, é reiniciado.

O item "Insolação no Teto Externo" questiona se o ambiente encontra-se abaixo de outro recinto (objetivando a verificação de trocas de calor). No caso afirmativo, será mostrada a mensagem "Não há contribuição de calor através do teto externo", caso contrário, deve-se informar se há telha e qual o seu tipo (barro, alumínio, fibrocimento), a espessura da telha (em mm), se existe forro e a sua descrição (conforme tabela apresentada) e a área do teto (em metros quadrados).

No item "Outras Transmissões" é abordada a área total dos vidros das janelas (em m<sup>2</sup>, sem considerar as janelas adjacentes a ambientes já condicionados) e o tipo de vidro utilizado (conforme tabela apresentada na tela do micro). No fim desta seção é mostrado o ganho de calor através das janelas. Situação semelhante ocorre com as paredes internas e o piso, onde é questionado se há paredes (ou piso), e a quantidade, adjacentes a ambientes já condicionados.

No item "Fontes internas", é preciso informar o grau de atividade exercida no local (conforme tabela apresentada no programa), o tipo de iluminação (incandescente ou fluorescente) juntamente com a respectiva potência (em W), a potência dos equipamento elétricos (em W), se existem motores (indicando a quantidade, as condições de instalação, a potência nominal em CV e o rendimento).

Após digitação de todos os dados necessários ao cálculo da carga térmica do local, é apresentada uma tabela com o total geral das fontes de calor, a qual pode ser vista nas Figuras 4 e 5.

Resumo das Cargas Térmicas		kcal/h
Sensível:		
1 - Insolação nas janelas		0.000000
2 - Insolação nas Paredes e Tetos Externos		335.335327
3 - Outras Transmissões		289.488708
4 - Fontes Internas (sensível)		16267.700195
5 - Motor do Ventilador		894.626221
6 - Infiltração (sensível)		0.000000
Latente:		
7 - Fontes Internas		1088.000000
8 - Infiltração (latente)		0.000000

Figura 4. Tela com o total geral do cálculo de Carga Térmica.

Total de Calor Sensível Interno:	17737.150391 kcal/h
Total de Calor Latente Interno:	1088.000000 kcal/h
Ganho devido ao Ar Externo:	4349.932617 kcal/h
<b>CARGA TÉRMICA TOTAL:</b>	<b>23175.082031 kcal/h</b>
	92700.328125 BTU/h
	7.725027 TR

Figura 5. Tela com o resumo das Cargas Térmicas.

## Dimensionamento de Dutos

Após escolher o módulo "Dimensionamento de Dutos", no menu de abertura do programa, Figura 2, é mostrada a tela da Figura 6, que contém alguns questionamentos que são descritos como segue.

**DADOS INICIAIS**

Informe a temperatura interna do Ambiente:22

Informe a Umidade Relativa do Ambiente:

(0) - 35%	(7) - 70%
(1) - 40%	(8) - 75%
(2) - 45%	(9) - 80%
(3) - 50%	(10) - 85%
(4) - 55%	(11) - 90%
(5) - 60%	(12) - 95%
(6) - 65%	

= 6

Informe o tipo de atividade do local:

(0) - Residências	(7) - Cinemas e Teatros
(1) - Apartamentos	(8) - Auditórios
(2) - Hospitais	(9) - Restaurantes
(3) - Hotéis	(10) - Comercios
(4) - Escritorios Particulares	(11) - Bancos
(5) - Escritorios Publicos	(12) - Industrias
(6) - Bibliotecas	

=

Figura 6. Dados iniciais para o Dimensionamento de Dutos

O item "Dados iniciais" pede informações sobre a temperatura (em °C) a qual se deseja resfriar o ambiente, a umidade relativa do local (em porcentagem) e o tipo de atividade exercido no ambiente (conforme quadro apresentado pelo software).

No item "Estrutura dos Dutos" é questionado o número de derivações (pontos de ramificação) do sistema de dutos, juntamente com o comprimento (em metros) trecho a trecho partindo do "ventilador" da central de refrigeração. Pergunta-se também, se há curvas no trecho em questão com sua respectiva angulação e quantidade. Aborda-se o número de ramos existentes em cada um ponto de derivação com o respectivo número de ambientes e informa-se, para cada ambiente, a carga térmica (em

kcal/h), o comprimento do trecho (em metros) e o número de curvas (se houver) com a respectiva quantidade e angulação.

Ao final da etapa de estruturação dos dutos, é mostrado um quadro geral contendo as informações inseridas no software, porém de forma organizada, como mostra a Figura 7. É apresentada ainda, uma tabela que contém os dados das dimensões dos dutos de cada trecho do sistema com o respectivo fluxo de ar (em m<sup>3</sup>/h), ver Figura 8.

TRAJETO DO DUTO DE REFRIGERAÇÃO	Comprimento (metros)	Curvas 90º	45º	Comprimento adicional (m)
Ventilador - 1º Pto de Deriv.	10,00	1	0	1,85
1º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 1	5,00	1	0	0,92
1º Amb do ramo 1 - 2º Amb do ramo 1	4,00	0	0	0,00
1º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 2	6,00	1	0	1,11
1º Pto de Deriv. - 2º Pto de Deriv.	9,00	0	0	0,00
2º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 1	6,00	1	0	1,11
2º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 2	5,00	1	0	0,92
1º Amb do ramo 2 - 2º Amb do ramo 2	6,00	0	0	0,00
2º Pto de Deriv. - 3º Pto de Deriv.	11,00	0	0	0,00
3º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 1	10,00	1	0	1,85
1º Amb do ramo 1 - 2º Amb do ramo 1	8,00	0	0	0,00
2º Amb do ramo 1 - 2º Amb do ramo 1	7,00	0	0	0,00
***** TOTAL *****	87,00	6	0	7,77
***** TOTAL GERAL *****	0 Comprimento Total e 94,77 metros			

Figura 7. Tabela resumo: dados de Dutos de Refrigeração.

TRAJETO DO DUTO DE REFRIGERAÇÃO	Fluxo de ar (m <sup>3</sup> /h)	Dimensões do Duto em (mm)
Ventilador - 1º Pto de Deriv.	87774,30	1400 x 1450
1º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 1	9404,39	400 x 500
1º Amb do ramo 1 - 2º Amb do ramo 1	4702,19	400 x 500
1º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 2	7836,99	400 x 450
1º Pto de Deriv. - 2º Pto de Deriv.	65808,72	450 x 750
2º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 1	9404,39	400 x 500
2º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 2	6269,59	400 x 450
1º Amb do ramo 2 - 2º Amb do ramo 2	3134,80	400 x 450
2º Pto de Deriv. - 3º Pto de Deriv.	47021,95	900 x 1000
3º Pto de Deriv. - 1º Amb do ramo 1	18988,78	600 x 700
1º Amb do ramo 1 - 2º Amb do ramo 1	15679,98	600 x 700
2º Amb do ramo 1 - 3º Amb do ramo 1	12539,18	600 x 700

Figura 8. Tabela resumo: Dimensionamento final dos Dutos.

## Gerenciamento de Centrais

Através do módulo de "Gerenciamento de Centrais", ver Figura 2, pretende-se estabelecer uma política de utilização de um conjunto de unidades de ar refrigerado, com base na capacidade das unidades e na carga térmica do ambiente.

Ao entrar no módulo de "Gerenciamento de Centrais", no menu de abertura do software, inicia-se o processo de gerenciamento das máquinas geradoras de ar refrigerado. Para tal, é necessário fornecer algumas informações. Tais informações são referentes ao número total de unidades centrais de ar do sistema de refrigeração que se quer gerenciar e a capacidade de cada uma das unidades centrais (em TR). Em seguida é apresentado um quadro resumo que contém as centrais de ar organizadas e numeradas com as suas respectivas capacidades (em TR). Finalmente é apresentada uma tabela que contém o período do dia (em horas), a quantidade de carga térmica necessária para a climatização do ambiente (em TR), as unidades centrais que devem ser acionadas naquele período e a quantidade de carga térmica total gerada pelas centrais de refrigeração, ver Figura 9.

PERÍODO	CARGA TÉRMICA NECESSÁRIA (TR)	UNIDADES CENTRAIS ACIONADAS	CARGA TÉRMICA GERADA (TR)
12 ~ 13	6,48	1ª e 2ª	7,5
13 ~ 14	7,25	1ª e 2ª	7,5
14 ~ 15	7,72	1ª e 3ª	8,0
15 ~ 16	7,72	1ª e 3ª	8,0
16 ~ 17	7,72	1ª e 3ª	8,0
17 ~ 18	7,25	1ª e 2ª	7,5
18 ~ 19	6,48	1ª e 2ª	7,0
19 ~ 20	5,91	3ª	5,0
20 ~ 21	4,01	2ª	4,5
21 ~ 22	3,99	2ª	4,5
22 ~ 23	2,77	1ª	3,0
23 ~ 24	1,00	Nenhuma	0,0

Figura 9. Tabela resumo do Gerenciamento de Centrais de Ar

Para o gerenciamento das centrais de ar, a exemplo do que é feito no módulo de curvas de carga térmica, a quantidade acumulada da carga térmica de todos os ambientes é calculada para cada hora do dia (por exemplo: de 1 ~ 4 hs a carga térmica no ambiente não sofre grandes influências da irradiação solar, portanto a carga térmica no ambiente diminui, normalmente, em grande quantidade) e este valor, devidamente recalculado, é comparado com os valores nominais em "toneladas de refrigeração" (TR) das centrais de ar (estes valores são escolhidos pelo usuário do programa e digitados quando solicitado).

O software considera alguns critérios para a escolha da(s) central(is) de ar, como uma margem de 10% do valor da carga térmica a ser resfriada, por exemplo, se um ambiente apresenta uma carga térmica de 5,4 TR, em um determinado momento, e as centrais disponíveis são 5 TR e 7,5 TR, então, pelo software, somente a central de 5 TR estaria ativada; mas se a carga térmica do ambiente aumentar para 5,6 TR, ultrapassando o limite da margem de 10%, será indicada somente a central de 7,5 TR. No caso da carga térmica alcançar um valor de 10 TR serão indicadas as duas centrais de ar, ou seja, a de 5 TR e a de 7,5 TR.

É importante ressaltar que as informações da capacidade das unidades a serem consideradas no estudo do gerenciamento, devem ser introduzidas pelo usuário do software, não havendo um banco de dados com as informações no software.

## Curva de Carga Térmica

Ao escolher o módulo "Curva de Carga Térmica", na tela da Figura 2, é apresentado o gráfico pontual das quantidades de carga térmica geradas pelo ambiente em TR com relação às horas do dia, ver Figura 10.

Na escolha da opção Curva de Carga Térmica tem-se como saída um gráfico que apresenta dois eixos, sendo o horizontal referente a tempo, no período de um dia de 0 ~ 24 hs, e o vertical referente a carga térmica, dada em TR (tonelada de refrigeração).

A curva é constituída partindo-se de um valor de carga térmica total que é acumulado por uma variável. Este acúmulo de valores é realizado no momento em que o software solicita a entrada dos dados de carga térmica para os ambientes na opção "Dimensionamento de Dutos".

De posse deste valor total de carga térmica, que geralmente é obtido no período de 12 às 13 hs, para o caso do Estado do Amazonas, calcula-se a carga térmica dos demais horários do dia levando-se em consideração o mês de realização do cálculo, dados de insolação nas janelas, paredes e tetos externos, orientação geográfica do ambiente e materiais utilizados para a construção do piso, paredes e teto do local, quantidade de potência gerada por equipamentos no ambiente e tipo do trabalho realizado no local.

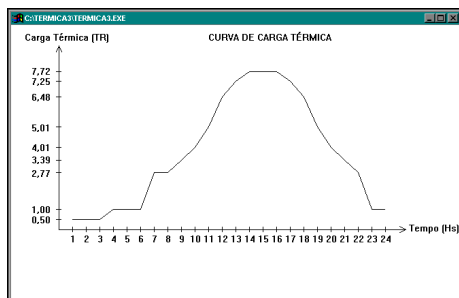


Figura 10. Tela com a Curva de Carga Térmica diária.

## CONCLUSÕES

O T3 foi utilizado na avaliação de instalações de ar condicionado em empresas instaladas no Distrito Industrial de Manaus, onde observou-se a praticidade de seu uso e sua eficiência, tendo sido encontrado potenciais de redução de até 50%, da energia utilizada pelos equipamentos de condicionamento ambiental. Verificou-se também, que tais potenciais de conservação poderiam ser atingidos, com a adoção de medidas de baixo custo, como colocação de cortinas de ar e desligamento de algumas unidades em determinados horários. Devido ao acordo realizado com as empresas, estas não permitiram a divulgação dos resultados, e tão pouco o nome das mesmas.

O software T3, apesar de não estar em sua versão final, apresenta-se, como um instrumento prático e eficaz na avaliação de potencial de conservação de energia elétrica em instalações de ar condicionado, além de possibilitar o gerenciamento da operação de unidades de ar condicionado, através das informações de curva de carga térmica.

Pretende-se no entanto, que este software, em sua versão final, seja capaz de avaliar as possíveis perdas na rede de dutos de refrigeração, para tal, os autores deste, encaminharão projeto ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, afim de obter os recursos financeiros necessários.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARRIER Air Conditioning Co., 1986, *Manual de Aire Acondicionado*, Ed. Sirven Grafic S.A., Espanha.

## ABSTRACT

The present (deteriorated) situation of Amazônia electricity system has been demanding great effort from the governmental authorities to guarantee the supply of the local electricity demand at acceptable levels. The University of Amazonas, has been trying to contribute with these efforts by means of qualification of human resources in the area of energy systems as well as by the development of applied research.

Since a great deal of the energy generated in Amazônia is consumed by climatization equipment, a software has been developed to evaluate the refrigeration load of buildings and simulate its behaviour during the day, month or year. This technical report presents this software, which can be used both for assessment or management of climatization equipment in search of rationalization of the energy use.