

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICO-QUÍMICA

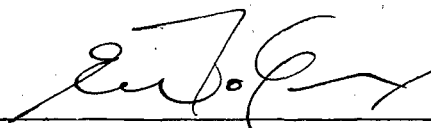
DESENHO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE COMPORTAMENTO
DE UM COLETOR SOLAR DE BAIXO CUSTO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS

JOSÉ ADAUTO DA CRUZ
OUTUBRO - 1984

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM CIÊNCIAS"

ESPECIALIDADE EM FÍSICO-QUÍMICA, OPÇÃO ENERGIA SOLAR E APROVADA EM
SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.

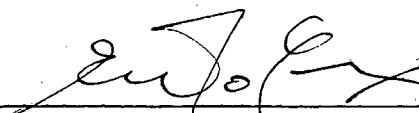


Prof. ERNESTO S. CRIVELLI, Dr. (UEM)
Orientador

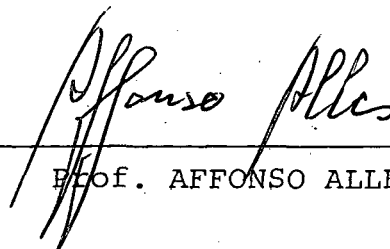


Prof. ROSENDO AUGUSTO YUNES, Ph. D.
Coordenador

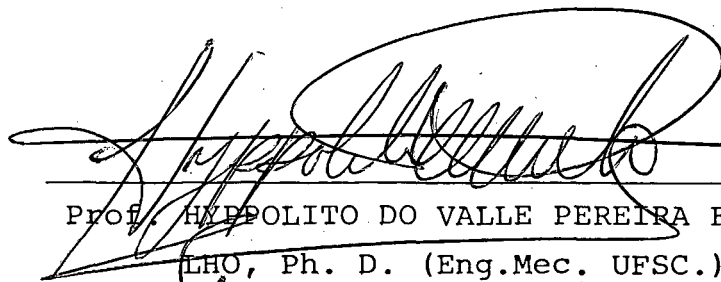
BANCA EXAMINADORA:



Prof. ERNESTO S. CRIVELLI, Dr. (UEM)



Prof. AFFONSO ALLES, Ph. D.



Prof. HIPPOLITO DO VALLE PEREIRA FI-
LHO, Ph. D. (Eng.Mec. UFSC.)

A
SUELI minha esposa
e
ao nosso filho THIAGO.

AGRADECIMENTOS

À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

À UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

À FUNDAÇÃO FAC.DE ED., CIÊNCIAS E LETRAS DE CASCAVEL

À CAPES e ao CNPq

AO PROFESSOR ERNESTO SANTINO CRIVELLI

AO PROFESSOR AFFONSO ALLES

AO PROFESSOR HYPPOLITO DO VALLE PEREIRA FILHO

AO PROFESSOR TED RAY TAYLOR

AO PROFESSOR VIRENDRA KUMAR SAXENA

À DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO/DPG - UEM

AOS COLEGAS DA PÓS-GRADUAÇÃO E AOS AMIGOS DO DEPARTAMENTO DE FÍSICA/UEM

RESUMO

Propõe-se o uso de coletores solares de baixo custo, contruídos com tubos de PVC negro flexível enrolados em forma de espiral. O comportamento dos diversos materiais usados é estudado determinando-se a viabilidade construtiva do modelo proposto.

Estudou-se o comportamento experimental de três diferentes configurações (coletor nu, coletor com isolamento térmico inferior e coletor com isolamento térmico e cobertura transparente superior), determinando-se um modelo estatístico que relaciona o rendimento de cada configuração, em função das condições ambientais e operativas a que o coletor está submetido.

Finalmente, a partir do modelo estatístico, construiu-se um modelo teórico para estudar o funcionamento de um sistema coletor-acumulador.

Os resultados obtidos mostram não só a viabilidade do coletor proposto, como constata ainda que seu desempenho, para certas condições operativas, pode ser melhor que o de outros sistemas convencionais de custos mais elevados.

ABSTRACT

We propose the use of low-cost collectors made with black flexible PVC tubes placed in the form of spirals. The behavior of various materials studied and used, determines the practical utility and applicability of the proposed model.

Experimental behaviors of three different configurations (bare collector, a collector with thermal isolation at the lower surface, and a collector with isolation and a transparent cover over the upper surface) were studied. The experimental observations were used to formulate a statistical model which relates the efficiency of each configuration as a function of atmospheric and operative conditions under which the collector operates. Consequently a theoretical model for the operation of a collector-accumulator system was constructed, based on the statistical model studied earlier.

The results showed the viability of the proposed collectors and indicated that their efficiency can be much better than other conventional high-cost collectors.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II - SOL E RADIAÇÃO SOLAR	05
2.1. O Sol	05
2.2. Distribuição espectral da radiação solar	06
2.3. Atenuação atmosférica da radiação solar	09
CAPÍTULO III - COLETORES SOLARES - AQUECIMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA SOLAR	13
3.1. Breve introdução histórica	13
3.2. A conversão da energia solar	16
3.2.1. Conversão térmica	16
3.2.2. Conversão elétrica	17
3.2.3. Bioconversão	17
3.3. Princípios físicos	18
3.3.1. Considerações gerais	18
3.3.2. Perdas de calor por irradiação	18
3.3.3. Perdas de calor por convecção	19
3.3.4. Perdas de calor por condução	20
3.4. Funcionamento básico dos coletores solares	21
3.5. Sistemas de maior comercialização	23
3.5.1. Circulação natural em circuito aberto	24
3.5.2. Circulação natural em circuito fechado	25
3.5.3. Circulação forçada em circuito aberto	26
3.5.4. Circulação forçada em circuito fechado	26
3.5.5. Sistema misto com suporte elétrico	26
3.6. Revisão bibliográfica - As soluções propostas	27
3.7. Nossa proposta	31
3.7.1. Justificativas	31

3.7.2. Considerações técnicas	32
3.7.3. Considerações econômicas	33
3.7.4. Modelo de coletor proposto	33
3.7.5. Metodologia de trabalho	35
3.7.5.1. Bomba	35
3.7.5.2. Serpentina	35
3.7.5.3. Comportamento termodinâmico	35
3.7.5.4. Análise de custos	36
3.7.6. Resultados esperados	36
 CAPÍTULO IV - ASPECTOS CONSTRUTIVOS E MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DOS COLETORES	 37
4.1. Aspectos construtivos	37
4.1.1. Suporte	37
4.1.2. Serpentina	37
4.1.3. Configuração do sistema	39
4.2. Materiais utilizados na experiência e seu comportamento	39
4.2.1. Mangueira	39
4.2.2. Bomba	41
4.2.3. Cobertura transparente	41
4.2.4. Isolante térmico	41
 CAPÍTULO V - MODELO PROPOSTO E RESULTADOS OBTIDOS	 45
5.1. Considerações gerais	45
5.2. Modelo de cálculo para as correlações	47
5.3. Obtenção dos valores T_e , T_s , T_a e Q	49
5.4. Análise das retas de regressão obtidas	50
5.5. Análise dos resultados obtidos	52
5.6. Modelo de comportamento de um sistema coletor-acumulador em função das condições ambientais	55
 CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO	 84
6.1. Quanto a área de aplicação do sistema proposto	84
6.2. Quanto aos materiais, equipamentos e acessórios	85
6.3. Algumas sugestões para a continuidade das pesquisas re- ferente ao trabalho	85
 BIBLIOGRAFIA	 86
 ANEXOS	 90

ANEXO 1 - PROGRAMAS DE CÁLCULO	91
ANEXO 2 - TABELAS DOS DADOS DE CAMPO (Dados observados experimentalmente)	97
ANEXO 3 - CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA REGIÃO DE MARINGÁ	106
ANEXO 4 - EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS PARA DIFERENTES USOS ESPECÍFICOS	109
ANEXO 5 - CONVERSÃO DE UNIDADES	115

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A energia solar, dada a sua abundância e disponibilidade em todo o globo terrestre, constitui seguramente fator predominante e promissora esperança na solução de um grande número de problemas decorrentes da crise energética que surgiu no início da década de 70. Ela constitui um fabuloso potencial energético renovável e inesgotável na escala humana, sendo ainda uma forma de energia limpa e susceptível de inúmeras aplicações.

O imenso potencial, representado pela energia solar, torna-se às vezes difícil de ser percebido em comparação com a energia que nosso planeta utiliza. O aproveitamento de apenas 0,1% da energia solar que nosso planeta recebe seria mais do que suficiente para suprir o consumo atual. Diante deste fato o esforço atualmente desenvolvido para viabilizar economicamente a energia solar é insuficiente, devendo ser substancialmente intensificado, principalmente em nosso país, cujo território se situa na região do planeta que é nitidamente favorecida pela radiação solar. No entanto, dois argumentos são usualmente empregados contra a utilização da energia solar: 1º) ela se apresenta de uma forma muito diluída, isto é, a densidade de energia solar é baixa quando comparada com a de alguns combustíveis, como o petróleo e o carvão; 2º) devido à sua intermitência originam-se dificuldades para que se possa suprir regularmente os sistemas que a utilizam.

Na medida em que a energia dos combustíveis fósseis (que não passa de energia solar acumulada por processos naturais ao longo de intervalos geológicos de tempo) se torna cada vez

mais custosa para ser obtida, o primeiro argumento perde sua força. Em nosso país, particularmente, este argumento já não pode ser mais empregado, principalmente porque se está investindo maciçamente num programa para a produção de um combustível que fornece energia de um modo muitíssimo mais diluído que a energia solar: o álcool hidratado.

A intermitência no recebimento de energia solar pode ser contornada através do emprego de uma parcela desta na produção de um combustível, que possa ser empregado nos intervalos de baixa ou de nenhuma incidência. Por exemplo, pode-se projetar uma usina solar-elétrica que utilize parte da energia produzida na obtenção de hidrogênio, ou então, pode-se empregar uma parcela da energia solar recebida na gaseificação do carvão. Também é possível projetar bombas acionadas pela energia solar e bombear água para um reservatório de modo a se armazenar energia potencial gravitacional.

De uma forma ou de outra, todos os combustíveis fósseis utilizados em nosso planeta tiveram origem na radiação solar armazenada através do metabolismo de plantas e vegetais durante milhares de anos. A rapidez do consumo destas reservas energéticas pelo homem justifica a preocupação atual em desenvolver novos meios de utilização da energia emanada do Sol sob forma de radiação.

A energia solar pode ser usada direta ou indiretamente. A utilização da energia eólica e maremotriz e da energia acumulada através da fotossíntese, no crescimento dos seres vivos, na biomassa e mesmo nas fontes não renováveis são, em última análise, formas indiretas de aproveitamento da energia solar.

De forma direta ela pode ser empregada na produção de calor, energia mecânica ou energia elétrica, utilizando-se dispositivos tecnologicamente mais ou menos desenvolvidos como coletores solares, baterias solares, etc. . Os dispositivos para geração de calor podem proporcionar temperaturas baixas, médias e altas dependendo do tipo de construção ou forma utilizado.

É preciso ressaltar, em se tratando de coletores convencionais, que os custos elevados dos equipamentos solares são de correntes do alto preço dos materiais empregados, como por exemplo, chapa e tubos de cobre, vidro plano transparente, material isolante, vedantes, etc., os quais são largamente empregados na indústria em uma infinidade de outras aplicações, por isso mesmo com valores unitários definidos e sujeitos às oscilações de mercado. Es

te fato mostra claramente a necessidade de um melhor desenvolvimento na tecnologia solar, de modo que possamos dispor de projetos mais simplificados e possíveis de serem executados com materiais especificamente desenvolvidos para as aplicações de energia solar. Somente quando atingirmos este estágio é que poderemos esperar uma utilização em massa da energia solar, quer seja nas aplicações residenciais, quer nas necessidades industriais utilizando a água preaquecida para caldeiras e finalidades outras. Em caso contrário a utilização em massa da energia solar poderá vir a ser uma imposição decorrente dos preços cada vez mais elevados das energias convencionais, o que não representa em absoluto uma política energética das mais recomendáveis.

Como se vê, possibilidades para a utilização da energia solar são inúmeras e dependem basicamente de dois fatores: criatividade (o que fazer) e tecnologia (como fazer).

O objetivo deste trabalho é o de desenvolver uma tecnologia simples e de baixo custo, mas eficiente, que permita a utilização maciça da energia solar para o aquecimento de água.

No CAPÍTULO II, faz-se uma breve resenha sobre o Sol.

Uma revisão bibliográfica, isto é, os trabalhos mais relevantes sobre o assunto e os princípios físicos bem como o funcionamento dos coletores solares planos, são apresentados no CAPÍTULO III.

O absorvedor da radiação solar é constituído de tubos de PVC negro flexível, onde estuda-se inicialmente o seu comportamento frente à radiação solar e às condições de intempéries. Procura-se chegar a um coletor solar plano de forma bem definida e simples, utilizando-se de componentes fáceis de serem adquiridos usar e manter, onde, após testes, faz-se uma seleção com a finalidade de oferecer confiança e viabilidade técnica ao seu usuário (assunto tratado no CAPÍTULO IV).

Testa-se experimentalmente o coletor de três formas: "coletor nu", "coletor com isopor" (isolamento térmico na parte de baixo do absorvedor) e "coletor com plástico e isopor" (além do isolamento, uma cobertura transparente sobre o absorvedor). De posse dos dados, monta-se uma equação que fornece um modelo teórico para analisar o comportamento de cada coletor. Para isto, são submetidos às condições de inverno e verão, onde monta-se uma tabela que fornece, além do rendimento, a temperatura média final do flui

do para variadas capacidades do depósito e vazão do fluido circulante, (assunto tratado no CAPÍTULO V).

Apresenta-se as conclusões referente à pesquisa no CAPÍTULO VI, aparecendo posteriormente alguns ANEXOS para um melhor esclarecimento e consulta.

CAPÍTULO II

SOL E RADIAÇÃO SOLAR

2.1. O Sol

O Sol, segundo os padrões cósmicos e tempos astronômicos, é uma estrela ainda jovem visto que a Via Láctea possui mais de 10 bilhões de anos de existência e o Sol possui apenas metade desta idade. Portanto pode-se considerar a energia solar como uma fonte de energia praticamente inesgotável.

Entre os cem bilhões de estrelas, o Sol é a mais próxima da Terra: distando $149\,598 \times 10^6$ m, ou seja, o equivalente a 8 minutos à velocidade da luz, enquanto a luz da estrela vizinha seguinte, a Alfa de Centauro, leva 4 anos para chegar a Terra.

As características principais do Sol, segundo J. L. PERRIER⁽¹⁾, são:

Diâmetro: $1\,390 \times 10^6$ m (o da Terra, no equador, é de $12\,756 \times 10^3$ m, ou seja, 108 vezes menor que o do Sol).

Diâmetro aparente médio (pois varia com as estações): $31'59''$ e 26 décimos, ou seja, aproximadamente $1/100$ do grau radiano. Esta unidade é muito útil para a construção dos captadores concentradores.

Volume: 1 300 000 maior que o da Terra.

Composição Química: 85 % de hidrogênio, 14,8 % de hélio, 0,2 % de elementos diversos (o Sol é, por conseguinte, uma bola gasosa).

Temperatura (no núcleo): 15 a 20 bilhões de graus Kelvin (na superfície é de aproximadamente 5800 K e decorre dos fenômenos termo-nucleares da transformação do hidrogênio em hélio).

O Equador solar tem uma inclinação de $7^{\circ} 18'$, relativamente ao plano da elíptica.

Rotação: uma em 26 dias, em média, como função da deslocação gasosa entre o equador e os polos.

Deslocamento retilíneo: 19 500 m/s em direção à estrela Vega de Lira, situada na constelação de Hércules.

Energia liberada: $3,8 \times 10^{26}$ J, (quantidade de energia incalculável para os padrões da Terra).

Energia recebida na superfície da Terra: $2,0 \pm 0,4$ calorias por centímetro quadrado em cada minuto, 1395 ± 28 W/m² ou 429,2 Btu/pé²h ($\pm 1,6$ %).

Esta enorme massa encontra-se totalmente no estado gasoso, inclusive o seu centro, apesar de estar sob a força de milhões de kilogramas de camadas de matéria por metro quadrado onde os elétrons, prótons e nêutrons podem vagar livremente. O que mantém o equilíbrio contra a força gravitacional é a estupenda quantidade de energia liberada no núcleo ficando a temperatura na ordem de 20 milhões de graus Kelvin, aquecendo então não só o próprio núcleo mas todo o sistema solar.

A energia que recebemos é somente uma diminuta parcela ($1,77 \times 10^{17}$ J) da emitida por esta imensa fornalha. A fonte desta é a conversão de matéria em energia. Isto é executado lento, porém, contínuo e irreversivelmente, pela destruição do Sol através da fusão nuclear de átomos de hidrogênio em átomos de hélio com liberação de energia. Este processo é semelhante ao que ocorre na explosão de uma bomba de hidrogênio. Porém no Sol a imensa força gravitacional garante a continuidade do processo.

2.2. Distribuição Espectral da Radiação Solar

Do ponto de vista da distribuição espectral, 99,999 % da radiação solar que atinge a atmosfera da Terra pode ser situada na faixa entre 0,10 μ m e 100 μ m, sendo que 7,0 % da energia

está na região do espectro abaixo de $0,38 \mu\text{m}$, onde se encontram a radiação ultravioleta e os raios-X; 47,3 % está na região visível, entre $0,38 \mu\text{m}$ e $0,78 \mu\text{m}$; os restantes 45,7 % encontram-se na região do infravermelho, K. Ya. KONDRATYEV⁽²⁾.

Deve-se no entanto observar que menos de 1 % da energia solar extraterrestre situa-se na região espectral acima de $4,0 \mu\text{m}$. A FIGURA 1 mostra a distribuição espectral da radiação solar extraterrestre.

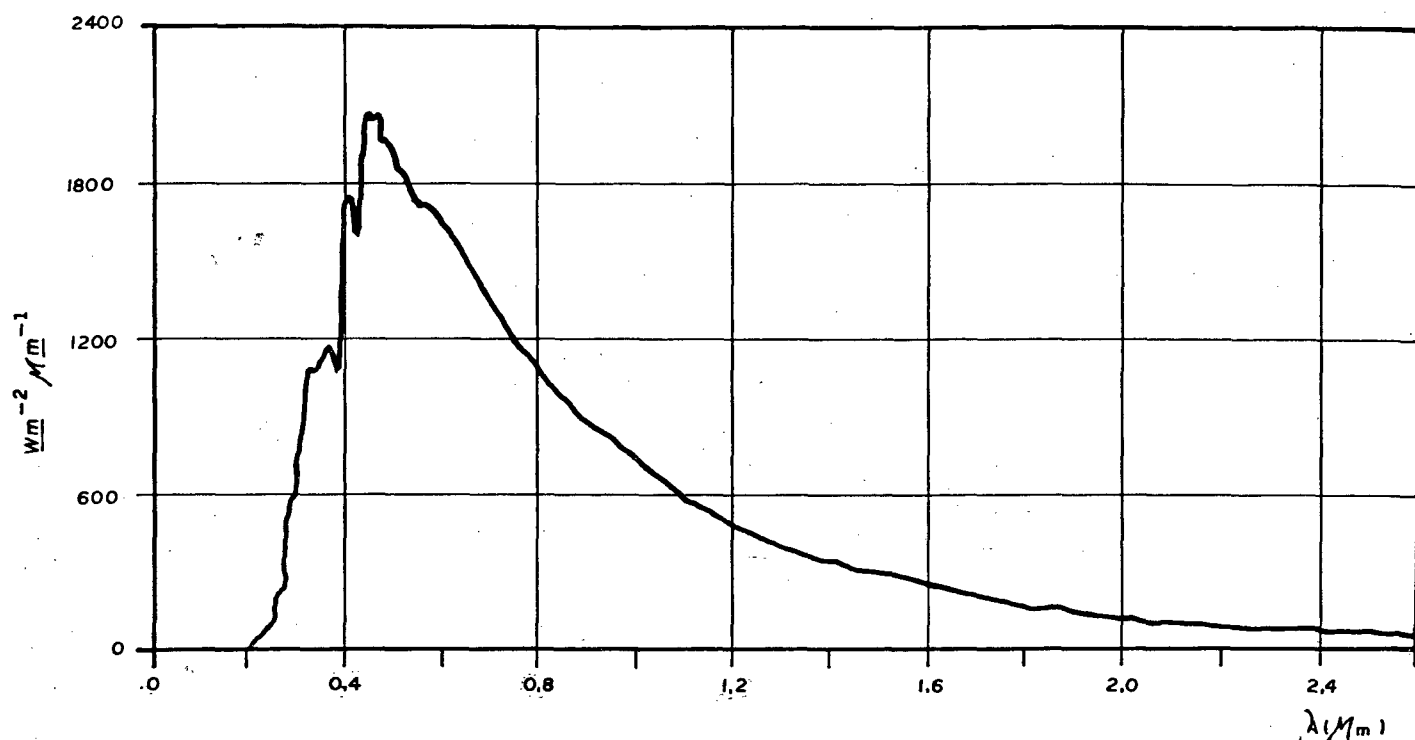


Figura 1. Distribuição espectral da radiação solar extraterrestre. M. P. TAKAEKARA⁽³⁾.

O conhecimento da intensidade da radiação solar extraterrestre e de sua distribuição espectral permitem determinar a assim chamada temperatura efetiva ou temperatura equivalente do Sol, a qual pode ser definida como a temperatura que deve ter um corpo negro para que emita uma quantidade de energia, por unidade de tempo e por unidade de área, igual a que emite o Sol (FIGURA 2).

Isto é¹:

¹ K. Ya. KONDRATYEV⁽²⁾, M. P. TAKAEKARA⁽³⁾ e F. KREITH⁽⁴⁾.

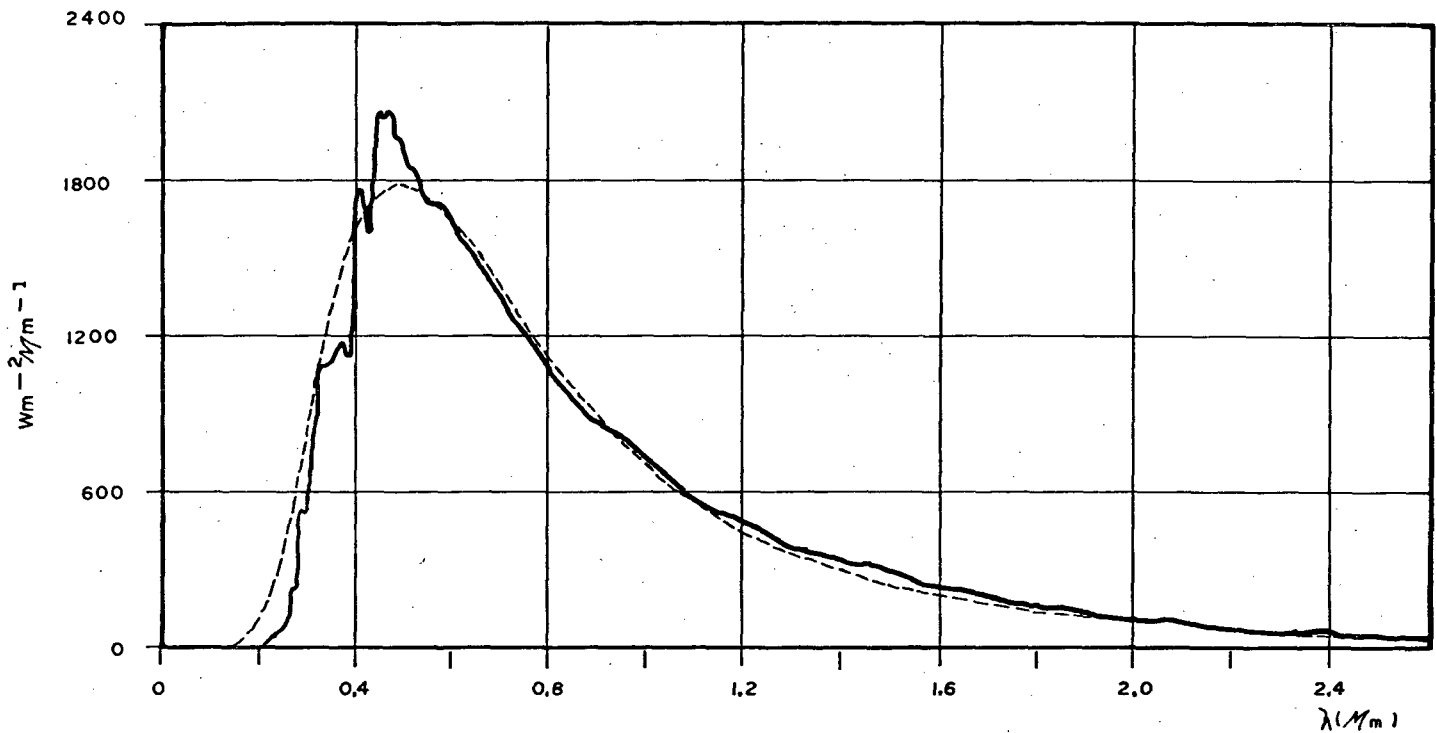


Figura 2. Comparação entre a distribuição espectral da radiação solar extraterrestre e a do corpo negro na temperatura de 5768 K, M. P. TAKAEKARA (3).

$$\frac{f_s 4\pi r^2}{4\pi R_s^2} = \sigma T^4 \quad (1)$$

$$T = (f_s r^2 / \sigma R_s^2)^{0,25} \quad (2)$$

onde: f_s é o fator solar (o mesmo que constante solar. Devido às variações de até 1,5 % verificadas na potência irradiada pelo Sol é mais conveniente a utilização desta expressão do que da constante solar);

r é a distância média Terra-Sol;

σ é a constante de Stefan-Boltzmann;

R_s é o raio do Sol.

Como os valores r , σ e R_s são determinados com uma precisão maior do que o valor de f_s , é conveniente escrever a EQUAÇÃO (2) como:

$$T = C(f_s)^{0,25} \quad (3)$$

onde: $C = (r^2 / \sigma R_s^2)^{0,25} = 950,13 \text{ m}^{0,5} \text{ K/W}^{0,25}$

O valor numérico da temperatura efetiva do Sol, considerando-se o fator solar igual a 1358 W/m^2 , substituindo na EQUAÇÃO (3), é:

$$T = 5768 \text{ K.}$$

2.3. Atenuação Atmosférica da Radiação Solar

A distribuição espectral da radiação solar ao nível do mar sofre algumas alterações significativas devido aos efeitos

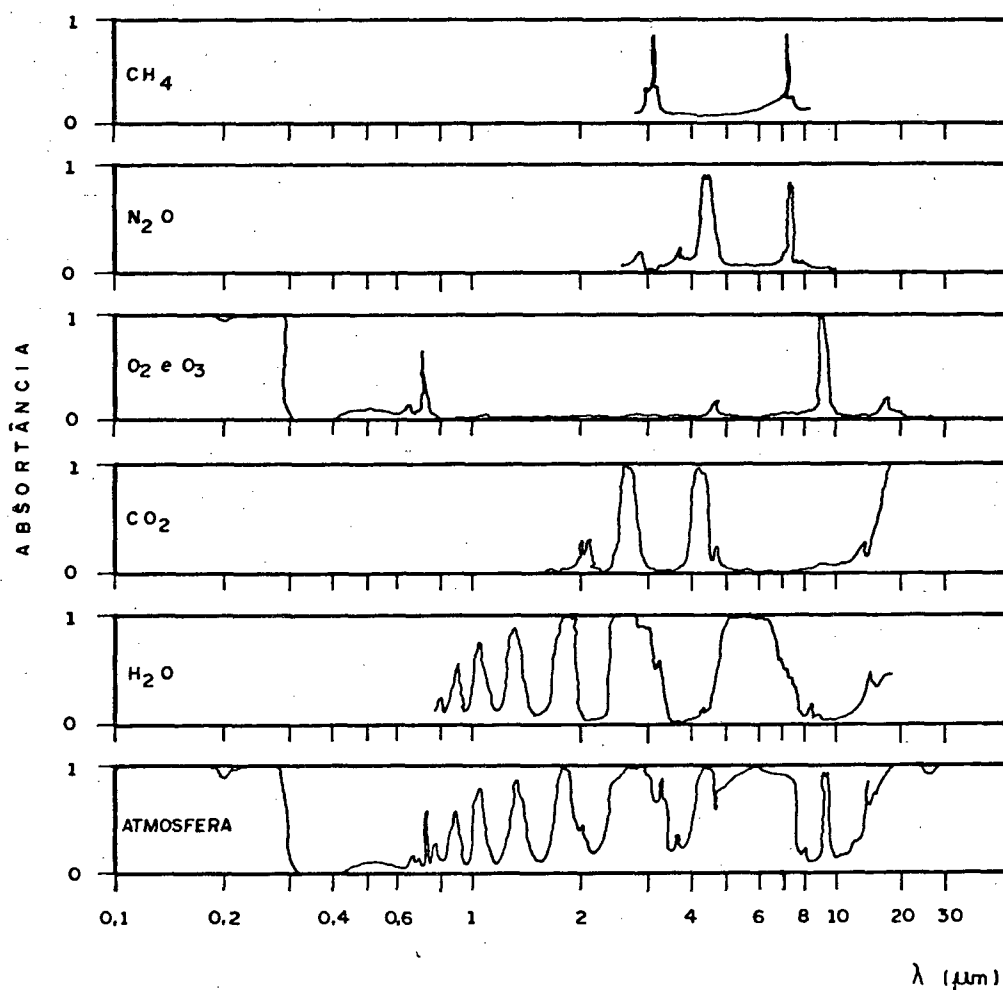


Figura 3. Absortância dos principais constituintes da atmosfera na região espectral correspondente a da radiação solar extraterrestre, NEIBURGER et al. (5).

causados pela atmosfera. Radiação de comprimento de onda muito curto, como a dos raios-X é absorvida na ionosfera, basicamente pelo nitrogênio e pelo oxigênio (FIGURA 3). A camada de ozônio é responsável pela absorção da maior parte da energia na região do ultravioleta. Na região do infravermelho o vapor de água (principalmente e o dióxido de carbono são os responsáveis pelas absorções. Os efeitos da atmosfera na radiação solar, são causados pelas moléculas que constituem o ar, pelo vapor de água e pelas partículas de poeira em suspensão; isto é uma atenuação da intensidade da radiação direta e o surgimento da radiação difusa no céu, que tem sua intensidade máxima em $0,45 \mu\text{m}$, na região azul do espectro visível.

O efeito resultante da atmosfera sobre a radiação solar, em termos de distribuição espectral (FIGURA 4), é situar seus limites entre $0,29 \mu\text{m}$ e $2,5 \mu\text{m}$, isto é, esses são os limites que devem ser considerados para qualquer utilização prática da energia solar sobre a superfície terrestre^{2,3}.

Na FIGURA 4 faz-se uma comparação entre a distribuição espectral da energia que chega à alta atmosfera, massa de ar $M = 0$, e a distribuição espectral da energia que alcança a superfície terrestre com $M = 1$ e $M = 4$. Entende-se por massa de ar (ou aeromassa, sendo dada pela relação $M = \sec\theta_z$, onde θ_z é o ângulo de zênite) o caminho percorrido pela radiação solar direta desde o limite superior da atmosfera até o nível do mar, considerando-se o caminho vertical igual a 1, KREITH e KREIDER⁽⁸⁾.

A FIGURA 5 mostra os efeitos da atmosfera sobre a radiação solar, isto é, a série de complexas interações com a atmosfera, e serve, também como um balanço global mais detalhado da energia solar que a Terra recebe durante um ano, pois de 100 % da radiação vindo da alta atmosfera: 23 % atinge a superfície terrestre de forma direta; 22 % é refletida pelas nuvens; 21 % é absorvida pelas núvens; 11 % é radiação difusa do céu; 5 % é espalhado pela atmosfera e 3 % é refletida pela superfície da Terra.

² Para uma discussão mais detalhada, consultar K.. Ya. KONDRATYEV⁽²⁾ e/ou DUFFIE e BACKAMAN⁽⁶⁾ e/ou N. ROBINSON⁽⁷⁾.

³ Na realidade existem algumas bandas espectrais na atmosfera, chamadas de janelas atmosféricas, em torno de $4 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$ que permitem a passagem de radiação, mas em termos energéticos é desprezível.

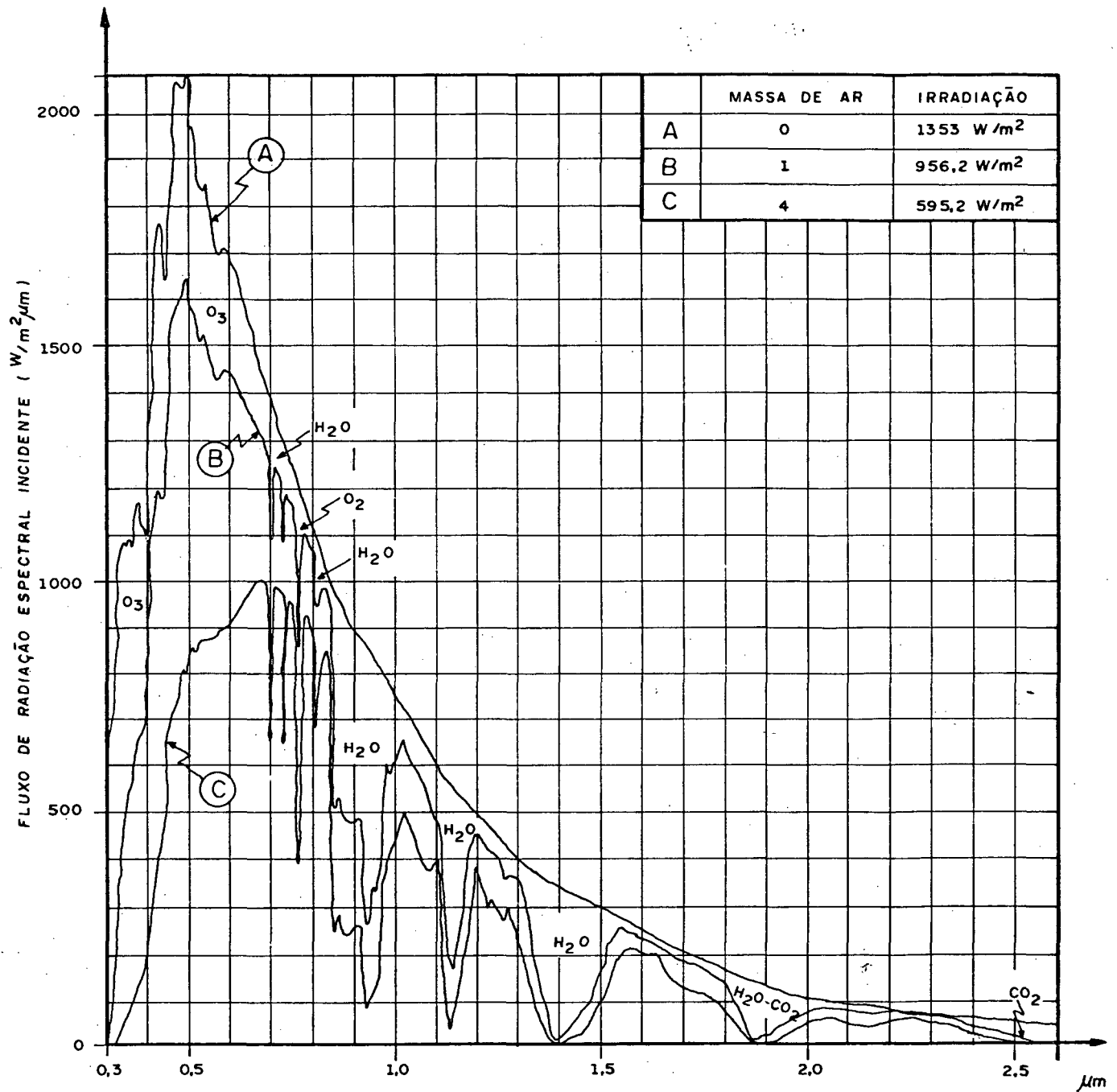


Figura 4. Irradiação solar espectral ao nível do mar para massas de ar 1 e 4 comparadas com a curva padrão extraterrestre, M. P. TAKAEKARA⁽³⁾.

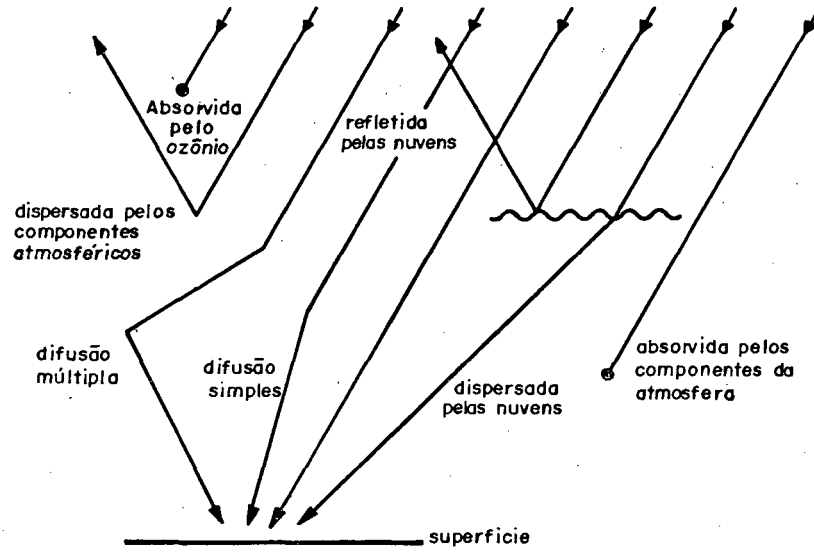


Figura 5. Interação da radiação solar com a atmosfera, B. J. BRIN
K^WORTH (9).

CAPÍTULO III

COLETORES SOLARES - AQUECIMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA SOLAR

3.1. Breve Introdução Histórica⁴

As civilizações antigas consideravam o Sol como um verdadeiro deus.

No Perú, 500 anos depois do desaparecimento do Império Inca, celebra-se ainda a Festa do Sol em 24 de julho, acendendo uma fogueira com o auxílio de um espelho dirigido para o astro sagrado.

Não apenas no Egito, mas igualmente em outros países como a Irlanda, existem templos cujas aberturas permitem a iluminação de estátuas no momento em que o Sol se eleva no horizonte, mas apenas num determinado dia do ano (festa do Solstício). Em Roma, noutros tempos, as Vestais acendiam o fogo sagrado utilizando um espelho côncavo de bronze polido.

Acrescentemos os relógios solares, os calendários muito rigorosos dos Chineses, dos Babilônios e dos Astecas, as observações dos Maias, os trabalhos da Escola de Pitágoras, os esforços de Ptolomeu em Alexandria, 150 anos antes de Cristo, as investigações astronômicas de Copérnico, em 1500, os problemas de Galileu, face às autoridades religiosas, que o obrigaram a negar a teoria correta do heliocentrismo (que o seu predecessor Copérnico transmitiu prudentemente e discretamente a Kepler). Os trabalhos de Galileu serviram ulteriormente a todos os outros cien-

⁴ J.L. PERRIER⁽¹⁾, H.J. BRINKWORTH⁽⁹⁾, A,B, MEINEL & M.P. MEINEL⁽¹⁰⁾
e F. DANIELS⁽¹¹⁾

tistas, a Newton, por exemplo, para os seus trabalhos sobre a gravitação.

Em 212 A.C. o Geômetra Arquimedes incendiou à distância a frota romana, ao largo de Siracusa, com espelhos de bronze polido⁵.

Lavoisier demonstrou em 1746 que era possível fundir certos materiais com o forno solar que aperfeiçoara, utilizando lentes convergentes.

No século XIX, o professor Mouschot arruinou-se para apresentar na Exposição Universal de 1878, em Paris, uma máquina de imprimir acionada por um refletor solar. O jornal impresso chamava-se precisamente "O Sol". Em seguida, auxiliado pelo seu amigo Abel Piffre, instalou máquinas de bombeamento na Argélia.

Nesta mesma época, foi instalada a primeira usina operativa de destilação de água com Energia Solar no deserto de Acatama no Chile para atender uma população de aproximadamente 5000 habitantes que trabalhavam em minas de exploração do salitre.

O primeiro motor solar com coletores planos sem concentração, foi construído em 1885 por C. Tellier e já em 1893 M. L. Severy obtinha a patente do primeiro engenho solar a produzir eletricidade de forma contínua. Esta foi uma época de idéias arrojadas no uso de Energia Solar, como mostra a patente de C. G.O. Bari que, antes mesmo do fim do século passado (1896) concebeu um motor de grande potência.

Em 1902 um sistema de concentração solar funcionou na Califórnia, para bombeamento de água. Em 1910 a " Sun Power Company " construiu perto do Cairo um captador parabólico de 1500 m² capaz de alimentar um motor de 100 cavalos.

O início do século XX se mostrou ainda mais promissor com a execução de uma série de projetos de grande envergadura. Contudo, com a primeira Grande Guerra, os estudos foram relachados, somente retomando a ritmo com a crise dos anos trinta.

5

Não existe comprovação histórica, sendo considerada, após amplo debate, um mito.

No que se refere ao aquecimento dos locais, E.S. Morse patenteou em 1881 um projeto de bomba de calor no Instituto de Agricultura de Moscou, para explorar o calor de uma massa de água enterrada no subsolo de uma habitação. Utilizando um princípio análogo, o Instituto de Tecnologia de Massachusetts, nos Estados Unidos da América, elaborou em 1939 uma casa solar cujo armazenamento térmico se realizava num reservatório de 62 metros cúbicos. Este Instituto e a Universidade de Harvard realizaram os primeiros experimentos de aquecimento de casas, de coletores planos e de possibilidades fotoquímicas. Em 1950, se celebrou um importante simpósio sobre aquecimento de edifícios.

Nesta época foi criado o centro de estudos da energia solar pelo CNRS (Centro National de la Recherche Scientifique).

Em 1968 foi instalada pela COMPLES (Cooperation Méditerranéenne pour l'Energie Solaire) a primeira caldeira solar mundial de 50 kw, capaz de produzir vapor a uma pressão de 150 bars.

Em 1970 terminou a construção do mais potente forno solar do mundo, com 1 MW térmicos. O seu objetivo consiste em realizar metalurgia de alta temperatura, ensaiar ligas ultra-refratárias destinadas aos reatores de aviões, às caldeiras nucleares, solares, etc. .

O interesse em torno do assunto (Energia Solar) tem tido altos e baixos ao longo da história, sendo quase que completamente abandonado com o advento do petróleo, que se mostrou uma fonte de energia de fácil uso e baixo custo. Todavia, com a crescente inflação do uso de energia no mundo, o encarecimento e limite das reservas de petróleo e outras fontes (conforme estudos em 1973-Roma), novamente voltam-se os olhos à abundante energia irradiada pelo Sol, corresponde a aproximadamente $8,8 \times 10^{14}$ barris de petróleo por ano. No entanto, o aproveitamento dessa energia apresenta inconvenientes, entre os quais, a baixa intensidade e o fato de ser uma fonte não constante de energia. Portanto, um amplo aproveitamento envolve geralmente complexos problemas tecnológicos; por outro lado, um aproveitamento mais simples, como o de coletores planos, implica uma tecnologia consideravelmente mais acessível.

3.2 A Conversão da Energia Solar

A conversão da Energia Solar pode ser dividida em três tipos: conversão térmica, conversão elétrica e bioconversão.

3.2.1 Conversão Térmica

A conversão térmica, por sua vez, pode ser dividida em três faixas de uso e concepção: baixas temperaturas (menores de 100° C), temperaturas médias (as situadas entre 100° C 200° C) e altas temperaturas (maiores que 200° C). As temperaturas até 100° C, são facilmente obtidas pelos chamados coletores planos, muito empregados no: aquecimento de água; em acondicionamento de ambientes, como calefação ou resfriamento; na secagem de frutos, grãos, forragem, etc.; em destilação, obtenção de água potável a partir de água salobra ou mesmo água do mar; tratamento de resíduos, no pré-aquecimento de líquidos industriais; etc.

As temperaturas médias, em torno de 100° C, ainda podem ser obtidas por coletores planos com algum requinte, como o uso de: duas ou mais coberturas, coberturas com filmes anti-refletivos e/ou de caráter seletivo, placas coletoras com superfície seletiva, estruturas anticonvectivas e antirradiantes, além de fluxo d'água forçado.

Já temperaturas um pouco maiores exigem coletores com concentração (coletores concentradores). Estes dispositivos se aplicam ao aquecimento de líquido industrial, bombas d'água ou motores de baixo rendimento, bem como geração de vapor, produção de gelo e cozinhas solares.

Para temperaturas maiores que 200° C, necessárias em usinas para produção de energia elétrica, motores solares de grande potência e caldeiras em geral, ou fornos solares, é indispensável a concentração da Energia Solar (coletores concentradores).

Muitos problemas tecnológicos, como a fadiga dos materiais pelas bruscas mudanças de temperaturas, corrosão, durabilidade dos espelhos, etc., estão envolvidos em coletores concentradores de altas temperaturas, ERDA⁽¹²⁾.

3.2.2. Conversão Elétrica

O aproveitamento da Energia Solar em conversão direta para a elétrica, obtido por intermédio de células fotovoltaicas, se torna muito caro com a atual tecnologia.

As chamadas células solares, que são junções p-n de semi-condutores, em geral são monocristais de silício ou de sulfeto de cádmio (vida média curta) ou gálio. Por ora, artefatos desse tipo se limitam a servir de fonte de equipamento de baixa potência em lugares ermos, em aplicações espaciais ou satélites. Pesquisas no sentido de obter células fotovoltaicas de maior eficiência e/ou que possam pelo menos competir economicamente com fontes convencionais de eletricidade, estão hoje sendo desenvolvidas por peritos no assunto em vários países. Um dos mais promissores enfoques para baixar sensivelmente o custo das células solares, é o emprego de silício amorfo, em lugar de cristais de silício. Há, no entanto, um prudente otimismo em torno do assunto.

3.2.3. Bioconversão

A bioconversão é a mais ampla de todas, pois abrange todos os fenômenos vitais da natureza, além dos provocados pelo homem com o fim específico. O cultivo da planta é o mais primário dos usos da Energia Solar e vem desde os primórdios da civilização.

Um reaproveitamento da energia solar como energia por via natural está hoje em franco desenvolvimento no Brasil, através da produção de cana-de-açúcar (projeto do álcool). Também são, há muito tempo, utilizados como fonte de energia o bagaço de cana, a lenha e o carvão vegetal.

Há a produção de alimentos como: cultivo de certos tipos de algas, peixes, refinamento da espécie e mesmo produção industrial (projeto Cabo Frio, por exemplo) e outros, além da cultura tradicional de toda série de alimentos.

Mais recentemente, surgiram projetos no sentido do aproveitamento de biomassas como a fermentação de: restos de esgotos de grandes cidades, restos vegetais da lavouva, escrementos

de animais e outros, nos chamados bioconversores. Como produto desse processo, obter-se-ia, por exemplo, gás combustível além de excelente adubo. A biomassa, entretanto, abrange uma vasta área de aproveitamento solar via biofísica.

3.3. Princípios Físicos

Para a melhor compreensão do assunto, antes da descrição dos diversos sistemas de captação da radiação solar, convém ressaltar algumas das leis relacionadas.

3.3.1. Considerações Gerais

Os princípios físicos usados para cálculos e análise da eficiência termodinâmica dos coletores solares são as equações básicas da transferência de calor, pois se uma placa aquecida for colocada ao ar, à temperatura ambiente (288 K = 15º C, por exemplo), ela tenderá a trocar calor (esfriar) com este meio por convecção, condução e irradiação. Citando como exemplo a título de comparação, seja a radiação solar incidente recebida por uma superfície plana de 3,014 MJ (720 kcal/h).

3.3.2. Perdas de Calor por Irradiação

Quando a radiação solar atinge a placa absorvedora, uma elevada percentagem (mais ou menos 95 %) da energia é absorvida aumentando sua temperatura. Nestas condições, a placa funciona agora, como um corpo emissor de radiação, irradiando energia de comprimento de onda proporcional a sua temperatura. A lei de Wien nos dá a relação entre o comprimento de onda máximo da radiação ($\lambda_{\text{máx}}$, dado em μm) e a temperatura do corpo (T_c em K).

$$\lambda_{\text{máx}} = 2897/T \quad (4)$$

Assim, se uma placa absorvedora atinge a temperatura de 333 K (60º C), segundo a EQUAÇÃO (4), a radiação emitida cor-

responde a um comprimento de onda máximo de 7,7 μm (radiação infravermelha).

Segundo a lei de Stefan-Boltzmann, a quantidade de calor q_1 (expressa em kcal/h) perdida por irradiação pelo corpo, a uma temperatura T_c (K) quando o meio ambiente está a uma temperatura T_a (K), é dado por:

$$q_1 = \alpha_1 \sigma (T_c^4 - T_a^4) A \quad (5)$$

onde, α_1 é o coeficiente de absorção ($\alpha_1=1$ para um corpo negro ideal), σ é a constante de Stefan-Boltzmann igual a $4,86 \times 10^{-8}$ Kcal/m²h K⁴ e A é a área da superfície dada em m².

Por exemplo: na EQUAÇÃO (5) para uma placa negra de 1 m² à temperatura de 333 K (60 \circ C), a troca de calor, com o ar a 293 K (20 \circ C), por irradiação para um $\alpha_1=1$, será:

$$q_1 = 4,86 \times 10^{-8} (333^4 - 293^4)$$

$$q_1 = 239,419 \text{ Kcal/h}$$

ou

$$q_1 = 1,002 \text{ MJ/m}^2.$$

3.3.3. Perdas de Calor por Convecção

As perdas de calor por convecção é calculada através de:

$$q_2 = h A (T_c - T_a) \quad (6)$$

onde, conforme FISK e ANDERSON⁽¹³⁾, h é o coeficiente convectivo de transferência de calor dado em kcal/m² h \circ C, A é a área da superfície em m², T_c e T_a são, respectivamente, a temperatura da placa e a temperatura ambiente em \circ C. O coeficiente convectivo h , depende de um grande número de fatores, tais como a posição e geometria da placa, a velocidade do vento, temperatura ambiente,

propriedades do ar, etc., praticamente se assume valores da ordem de 2 a 20 kcal/m² h °C, segundo H.V. PEREIRA FILHO⁽¹⁴⁾.

Por exemplo, na EQUAÇÃO (6), para uma temperatura de 333 K (60° C) na placa coletora de 1 m² de área, supondo $h_c = 10$ kcal/m² h °C, a perda de calor, para o ar a 293 K (20° C), por convecção, será:

$$q_2 = 10(60 - 20)$$

$$q_2 = 400 \text{ kcal/h}$$

ou

$$q_2 = 1,674 \text{ MJ/m}^2.$$

Observamos, pois, que as perdas de calor nestes casos, convecção e irradiação, são grandes e se a superfície coletora não estiver protegida, a energia coletada será praticamente nula (conforme considerado: radiação incidente de 3,014 MJ/m²). Esta proteção é obtida colocando-se placas de vidro ou plástico transparente sobre a placa absorvedora.

A placa protetora deve ter características de transparência tal que não permita a passagem de radiação de comprimento de onda superior a 3 μm , ou seja, a radiação reemitida pela placa absorvedora. Se estas condições forem satisfeitas, as perdas de calor por convecção e irradiação serão reduzidas em uma grande parte.

3.3.4 Perdas de calor por condução

Outra perda de calor, ainda não considerada é a perda de calor por condução através das partes do coletor. Deve-se salientar, no entanto, que as perdas de calor por condução ocorre somente quando há contato. Sua equação é:

$$q_3 = k(T_c - T_a)A/d \quad (7)$$

onde, T_c e T_a são, respectivamente, a temperatura do corpo e do meio ambiente em °C, d é a espessura da placa isolante em m, A é a área da superfície absorvedora (corpo) em m² e k o coeficiente de condutibilidade térmica do material em kcal/m h °C. O coeficiente de condutibilidade térmica de alguns materiais normalmente utilizados, são os seguintes: madeira 0,20; lã de vidro 0,027; iso por 0,037; R. P. TORREIRA⁽¹⁵⁾.

3.4. Funcionamento básico dos coletores solares

Um coletor de energia solar é um dispositivo que absorve a radiação solar incidente, transferindo-a para um fluido de trabalho sob a forma de energia térmica.

Em um coletor solar, a circulação do fluido pode ser natural ou forçada. Quando a circulação é natural a queda de pressão⁶ no coletor deve ser a mínima possível para facilitar a circulação do fluido por convecção natural (termosifão). Os sistemas mais utilizados, J.L. PERRIER⁽¹⁾, são:

- Tubos verticais paralelos;
- Tubos Horizontais;
- Chapas embutidas soldadas com alvéolos;
- Moldagem de ligas de alumínio;
- Lâmina fluída.

Quando o fluido é forçado a circular, mediante o uso de uma bomba hidráulica, além dos sistemas mencionados por circulação natural, podem-se utilizar outras configurações, tais como: serpentina, espirais, etc..

Os coletores solares podem ser divididos em:

- a) não concentradores (coletores planos) e
- b) concentradores.

Neste trabalho, dar-se-á mais ênfase ao conhecimento dos coletores planos, uma vez que ele visa, especificamente, desenvolver um tipo desses coletores.

a) O coletor plano, de modo geral, é caracterizado por uma superfície coletora com boas propriedades de absorção da radiação solar incidente (por exemplo, superfície negra). Esta superfície, por sua vez, é ligada ao sistema de drenagem de energia por intermédio de um fluido (por exemplo água) e, termicamente, isolada pela parte inferior e laterais, além da cobertura por uma ou mais placa de material semi-transparente com propriedades seletivas da energia radiante (FIGURA 6). A cobertura pode ser formada por uma ou mais placas sobrepostas, afastadas entre si e do

⁶ A queda de pressão é função da velocidade de escoamento e da rugosidade assim a queda de pressão zero pode ser obtida com velocidade zero, o que é recomendável: pequenos comprimentos, poucos acessórios e baixa rugosidade.

absorvedor por distâncias apropriadas para cada aplicação. O absorvedor (superfície coletora), geralmente é uma chapa metálica (pode ser de material sintético) sobre a qual foram soldados tubos onde passa o fluido que retira o calor. O absorvedor deve ser enegrecido para permitir a máxima absorção da radiação incidente. Junto com o isolamento os componentes são, em geral, acondicionados numa caixa vedada que impede a penetração da umidade, a circulação de ar através do coletor, etc.

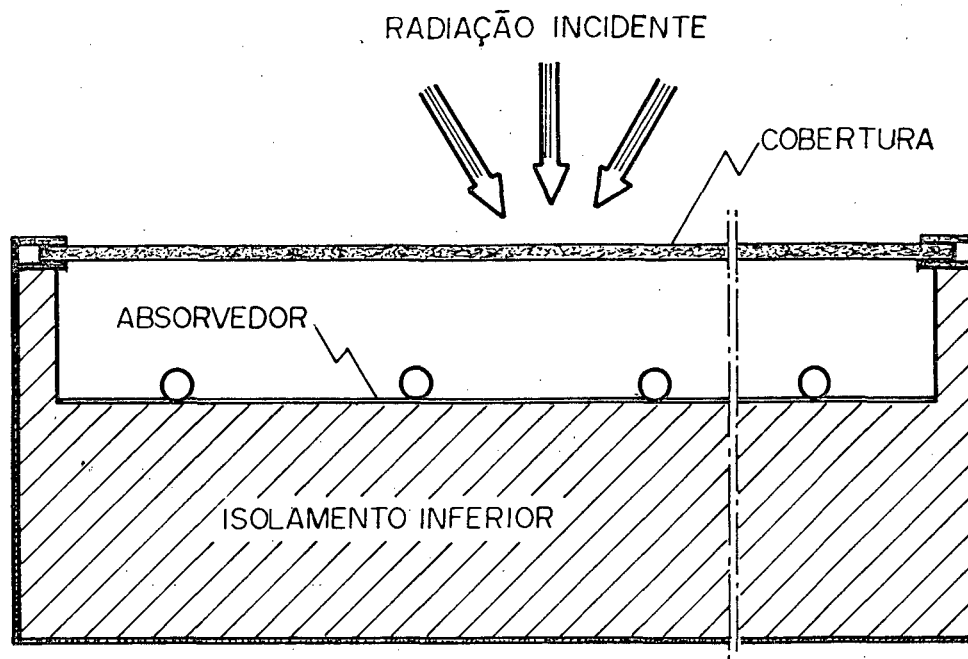


Figura 6. Corte esquemático de um coletor solar plano tipo "chapa e tubos" com uma cobertura.

A radiação solar⁷ que incide sobre o absorvedor, depois de atravessar a cobertura, é parcialmente transformada em calor. Este, por condução, flui para os tubos onde a temperatura é mais baixa, devido a permanente retirada de calor promovida pelo fluido de troca. A radiação refletida pelo absorvedor retorna à cobertura sendo aí, parcialmente, refletida novamente ao absorvedor.

⁷ A radiação emitida pelo Sol nas altas camadas atmosféricas, situa-se na faixa de comprimentos de onda entre $0,115$ e $50\mu\text{m}$, reduzindo entre $0,3\mu\text{m}$ e $3\mu\text{m}$ quando atinge a superfície terrestre. Portanto a superfície absorvedora deve ter um elevado coeficiente de absorção da radiação solar (λ entre $0,3\mu\text{m}$ e $3\mu\text{m}$) e baixo coeficiente de emissão dos raios caloríficos (λ entre $3\mu\text{m}$ e $30\mu\text{m}$).

A redução das perdas de calor e o aumento da absorção da chapa coletora elevam a eficiência do coletor. Uma chapa absorvedora descoberta e sem isolamento térmico sofreria perdas pelos processos: convecção e irradiação, mas a ênfase estaria na convecção pelas correntes de ar. O espaço de ar entre o absorvedor e a cobertura, minimiza as perdas convectivas entre os dois elementos. As trocas de calor por irradiação entre o absorvedor e a cobertura, dependem intimamente das propriedades óticas destes materiais.

Sendo assim, a cobertura tem papel duplo na redução de perdas: além de impedir as perdas convectivas provocadas pelo vento (correntes de ar), a cobertura pode reduzir as perdas por irradiação.

Deve salientar-se que as placas coletoras podem receber um tratamento de superfície que as transforma em "Superfícies Seletivas" permitindo uma alta absorção da radiação visível ($\lambda < 0,1 \mu\text{m}$) e uma baixa absorção (e portanto emitância) na região do infravermelho ($\lambda > 1,0 \mu\text{m}$). Nestas condições as coberturas transparentes têm a função principal de evitarem as perdas por convecção.

b) Os coletores chamados concentradores têm o mesmo princípio básico de funcionamento que os coletores planos. A diferença consiste no fato de concentrar a radiação incidente sobre o absorvedor através de lentes ou espelhos. Como as perdas térmicas são proporcionais à área e à temperatura do elemento quente, a diminuição da superfície do absorvedor, recebendo a mesma quantidade de radiação, pode compensar o aumento de emissão devido a elevação de temperatura.

Existem muitas possibilidades de construção de coletores concentradores, podendo ser refletores cilíndricos-parabólicos com o absorvedor tubular no foco linear; lentes esféricas; lentes de Fresnel; refletores parabolóides de revolução; concentradores não focalizados, etc..

3.5 Sistemas de maior comercialização

Há vários tipos de aquecedores solares em plena comercialização, virtualmente, todos usando absorvedores construídos com chapas pintadas de negro. Os normalmente comercializados em nossa região são os "coletores convencionais" do tipo da FIGU-

RA 6, em circuito aberto. As características básicas dos sistemas mais usados são as que se seguem

3.5.1. *Circulação Natural em circuito aberto*

Uma consideração importante na captação da radiação solar disponível para utilização prática, é o ângulo compreendido entre a direção dos raios solares e a perpendicular à superfície do coletor. Este ângulo é importante porque determina a intensidade da componente perpendicular de radiação que atinge o coletor e a capacidade deste de refletir, transmitir e absorver os raios solares. O coletor deve estar orientado para o norte⁸, com uma inclinação em relação à horizontal, linha norte-sul, de forma que os raios solares o atinja diretamente, a fim de facilitar o processo de circulação natural, onde o fluido é continuamente circulado no interior da grade de tubos do coletor, devido ao efeito termo-sifão, retirando a água (fluido) para o consumo.

Geralmente a inclinação média destes coletores é anual, podendo também, ser mensal ou diária (caso necessário, para a inclinação e orientação dos coletores solares, consultar: DUFFIE e BACKMAN⁽⁶⁾, P.J. LUNDE⁽¹⁶⁾, E. COMETTA⁽¹⁷⁾, KREIDER e KREITH⁽¹⁸⁾, etc.).

A circulação é baseada na diferença de densidade decorrente da diferente temperatura da água existente no reservatório e no coletor. A circulação natural só será interrompida quando a intensidade de radiação for insuficiente para manter a temperatura em níveis diferentes.

Entre o nível inferior do reservatório e a saída de água quente no coletor, deverá existir um desnível de pelo menos 0,6 metros, CHINNERY⁽¹⁹⁾. A FIGURA 7 exemplifica esta montagem.

Os coletores de alumínio não são indicados para circuitos abertos, principalmente, quando se trata de água muito clorada, pois o cloro ataca rapidamente o absorvedor de alumínio, danificando-o. Para este tipo de água recomenda-se o emprego de absorvedores de ferro galvanizado, cobre ou aço inoxidável, sendo o cobre o material mais indicado.

⁸ Aqui está se referindo ao hemisfério sul; para o hemisfério norte, a orientação geral e ideal é para o sul.

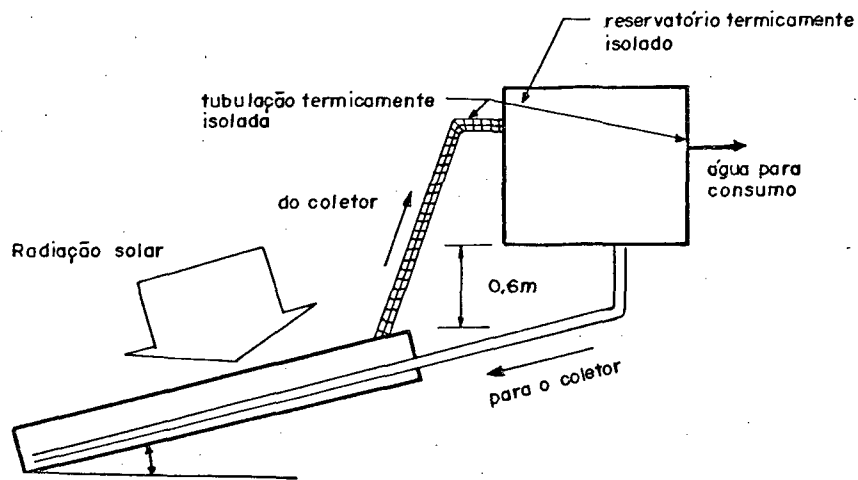


Figura 7. Tipo de instalação de um sistema solar de circulação natural em circuito aberto.

3.5.2. Circulação natural em circuito fechado

A diferença fundamental entre este tipo de coletor e o anteriormente descrito e esquematizado na FIGURA 7, é a introdução de um trocador de calor no circuito do coletor inserido dentro do reservatório de água quente, conforme FIGURA 8.

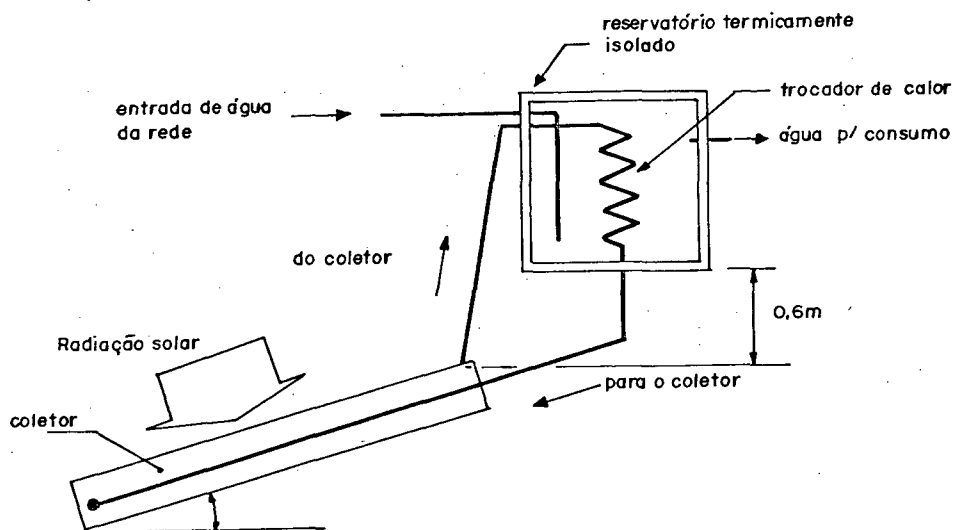


Figura 8. Tipo de instalação de um sistema solar de circulação natural em circuito fechado.

Neste caso, os coletores de alumínio podem ser empregados já que o fluido de trabalho poderá ser um óleo mineral fino ou mesmo água destilada. A água a ser aquecida trocará calor com o trocador dentro do tanque sem ter que circular pela tubulação da placa absorvedora do coletor.

3.5.3. Circulação forçada em circuito aberto

Este tipo de instalação tem as mesmas características do sistema descrito no item 3.5.1., diferindo apenas pela introdução de uma bomba hidráulica no circuito do coletor. As demais observações feitas para a instalação descrita neste item são válidas para o presente caso.

3.5.4. Circulação forçada em circuito fechado

Este tipo de instalação tem as mesmas características do descrito no item 3.5.2., variando apenas pela introdução de uma bomba hidráulica no circuito do coletor.

3.5.5. Sistema misto com suporte elétrico

Este tipo de instalação é indicado quando se deseja manter a água de consumo numa determinada temperatura. O sistema com suporte elétrico pode ser formado pela associação de qualquer um dos sistemas anteriormente descritos, onde se instala uma resistência elétrica (aquecedor), comandado por um termostato. Sempre que não tiver radiação suficiente para manter o nível de temperatura de demanda, a resistência elétrica é ativada, saindo de operação, tão logo a água atinja a temperatura requerida. Dos sistemas descritos, é o de custo mais elevado em virtude das sofisticações introduzidas no circuito de aquecimento.

Deve ser salientado que nos sistemas descritos anteriormente podem ser utilizados tubos de cobre, alumínio ou ferro galvanizado. O cobre é o mais indicado, por apresentar menores problemas de corrosão e deposição galvânica de sais mas seu custo é elevado; o alumínio é mais leve, tem um custo mais acessível e possui boa condutividade térmica; o ferro apresenta com mais frequência os problemas de corrosão e deposição galvânica de sais,

também tem um custo menor que o cobre, é mais pesado que o alumínio e possui boa condutividade térmica.

A eficiência destes coletores gira em torno dos 50 %, mas não muito acima disto. Esta eficiência pode ser melhorada com o emprego de novas técnicas e também de materiais adequados. Entretanto, esta melhora aumenta consideravelmente o custo do coletor solar. Também deve-se ter em mente que estes coletores solares possuem vida média entre 5 e 10 anos, sem contar os problemas rotineiros de manutenção do sistema hidráulico e outros, durante este período, J.D. BALCOMB e J.E. PARRY⁽²⁰⁾, K.G.T. HOLLANDS⁽²¹⁾.

3.6.. Revisão Bibliográfica - As soluções Propostas

A partir do momento em que os aquecedores solares de água começaram a ser comercializados em massa nas diferentes partes do mundo (E.U.A., Israel, Austrália, Japão, etc.), as pesquisas no tema tomaram dois rumos diferentes:

- 1º - sistemas e/ou mecanismos para avaliar o rendimento das diferentes variantes de aquecedores/coletores;
- 2º - novas propostas para melhorar o rendimento e/ou

diminuir os custos dos sistemas convencionais.

Antes de se analisar o proposto neste trabalho, é interessante que se faça uma breve resenha dos resultados mais relevantes apresentados nas publicações especializadas dos últimos anos.

Visando diminuir as perdas de calor por irradiação, foram propostos diferentes tipos de tratamento das superfícies absorvedoras que as transformam em superfícies seletivas através de processos mecânicos (pinturas), físicos (implantação iônica), químicos (deposição eletrolítica), etc.. Entre os inúmeros trabalhos publicados, citamos o artigo de FARBER⁽²²⁾, que propõe métodos de laboratório para estudar o comportamento das superfícies seletivas de energia frente a uma radiação artificial, o que além de simplificar a montagem melhora a tomada de dados até com simulações para análise, concluindo ser possível conhecer suas propriedades de absorção e transmissão, para posterior utilização em coletores de energia solar.

Torna-se oportuno ressaltar que pode ser economicamente viável usar uma superfície seletiva⁹ na chapa de vidro, ao invés de usá-la no absorvedor. Isto pode ser feito, por exemplo, com uma chapa de vidro cuja superfície inferior tenha sido coberta com uma película de SnO_2 (já disponível na indústria), ou materiais similares, cujas propriedades ópticas são determinadas unicamente pela concentração de elétrons livres. O SnO_2 é transparente na faixa visível, e altamente refletivo na faixa infravermelha. Também, com a colocação de uma segunda chapa de vidro acima da primeira, consegue-se duas vantagens: 1) as perdas devido à convecção do ar são mais reduzidas (importante em regiões ventosas); 2) as perdas de radiação no espectro infravermelho são reduzidas em mais 25 %, porque a metade dos 50 % emitidos para fora, a partir do primeiro vidro, são irradiados de volta. Economicamente nem sempre compensa o uso de mais de duas chapas de vidro, pelo fato de cada chapa refletir cerca de 15 % da radiação solar incidente, W.PALZ⁽²⁶⁾.

⁹ Para uma discussão mais detalhada sobre o assunto, sugere-se consultar MEINEL e MEINEL⁽¹⁰⁾, R.O. KEPPELER⁽²³⁾, J.J. HARREL Jr.⁽²⁴⁾, DIXON e LESLIE⁽²⁵⁾, etc..

Com o intuito de diminuir as perdas de calor por convecção, as propostas mais originais, como o artigo de HOLLANDS (27), são o uso de compartimentos anti-convectivos em forma de favos (honeycombs) construídos com diferentes materiais, na maior parte dos casos plásticos transparentes. No trabalho citado, foi concluído que além de ser um sistema econômico, pode ser conseguidas altas eficiências (aproximadamente 50 %) nos coletores de placa plana com a temperatura entre 366 e 422K.

Para evitar as perdas por esfriamento noturno dos coletores solares, diferentes autores propõem o uso de válvulas térmicas (thermal-trap). R.L. SAN MARTIN e G. J. FJELD (28) comparam o comportamento de coletores com e sem a referida válvula.

Para melhorar as condições de absorção de calor e sua transferência ao fluido de trabalho, KUSUDA (29), MINARDI e CHUANG (30), propuseram o uso de tubos transparentes com líquido tingido de preto, em circuito fechado. Comparou-se a eficiência (seu comportamento em termos de eficiência foi aproximadamente o mesmo quando comparado com os sistemas convencionais) do sistema (máximo de 77 %) com os trabalhos de GUPTA e GARG (31), SIMON e HARLEMENT (32) e BUCHBERG et al. (33), concluindo ser possível sua utilização inclusive com modificações como, outros líquidos negros, outras coberturas transparentes, etc..

H.P. GARG (34) analisou as distintas disposições, usando para tal vários coletores convencionais, concluindo que para satisfazer as grandes e intermitentes demandas de água quente, a disposição em paralelo é a de melhor eficiência e economia.

Um bom número de propostas tem sido feitas, com o intuito de diminuir os custos dos sistemas com aquecimento solar, o que torna importante citar algumas delas.

SOUKA (35) projetou um coletor solar de placa plana destinado a receber radiação tanto pela parte de trás (são usadas placas de alumínio para refletir a radiação solar), como pela frente, isto é, um absorvedor duplo. Além de omitir o isolamento térmico, a absorção de energia aumentou em 48 % com relação a um coletor de placa convencional.

CHINNPPA e GNANALINGAM (36) investigaram o desempenho de um aquecedor solar que consiste em uma serpentina quadrada plana, composta de tubos com três polegadas de diâmetro e comprimen-

to de 44,3 pés , em uma caixa de madeira com isolamento térmico no fundo e duas coberturas de vidro. O fluido fica em regime estacionário, extraíndo-o , por intermédio de uma bomba, quando este alcança 120 °F (48,9 °C), onde se obtém de 30 (113,56) a 50 galões (189,27 litros) por dia.

Os testes com um coletor solar de baixo custo (placa coletora e caixa de madeira isolada no fundo coberta por um vidro), combinado com um acumulador de água quente, sendo o volume do coletor/acumulador cerca de 70 litros de capacidade, foram feitos por CHAUHAN e KADANBI⁽³⁷⁾, com a finalidade de conhecer o comportamento do aquecedor em quatro situações diferentes: a) circulação de fluido por uma pequena bomba; b) convecção natural; c) fluido em regime estacionário, extraíndo-o quando sua temperatura está entre 50 e 60 °C; d) fluxo contínuo passando pela placa coletora com regime de 38,6 e 75,9 kg/h. Ao longo do dia, nos casos a e b, para uma elevação da temperatura da ordem de 53 °C e temperatura final da ordem de 65 °C, o rendimento foi de 60 %, não observando apreciável diferença na eficiência. No caso c, a eficiência foi de 64,8 %, com 202,6 litros de água aquecidos entre 38,5 e 58 °C. Em d, a um fluxo de 75,9 kg/h, a maior eficiência foi de 71,8 %.

BAR-COHEN⁽³⁸⁾, propõe a construção de um aquecedor solar convencional, onde o absorvedor e o depósito de água estão agrupados de modo a formarem um único sistema. Conclui-se que, uma vez eliminado o depósito vertical, além de melhorar a estética da instalação pode-se ainda reduzir o custo do aquecimento solar. Possui alta eficiência durante o período de insolação, mas em sua ausência, é aconselhado extrair o fluido para um outro reservatório termicamente isolado.

GOPFFARTH et al.⁽³⁹⁾, desenvolveram um sistema de coletar a radiação solar formado por módulos de plástico, onde se empregam métodos estatísticos e experimentais para determinar a eficácia óptica e as perdas de calor por radiação e convecção, posteriormente, comparam os resultados obtidos com os de HOTTEL e WOERTZ. Cada unidade é composta por uma bolsa cheia d'água, transparente na parte superior e negra na parte inferior (fundo). A água é aquecida por absorção da radiação solar pela superfície negra, durante o dia e retirada para sua posterior utilização, quando não se tem radiação solar.

SWARTMANN e OGUNDADE⁽⁴⁰⁾ investigaram o desempenho de um coletor solar com cobertura de vidro e isolamento térmico que utiliza os seguintes materiais absorvedores, analisados em separado: esferas sólidas, tela metálica e pequenos pedaços de metais (ferro), em forma de chapas irregulares pequenas. Testa-se o rendimento de cada um deles visando melhorar a coleção de energia solar com considerável redução no custo. Não houve apreciável diferença entre o rendimento de cada um, pois, variou em cada caso em torno de 10%. Encontrou-se uma eficiência média em torno de 80 % a uma temperatura de 100 °F(37,8 °C), para todos os casos, não se obtendo muito acima disto.

PILLAI e AGARWAL⁽⁴¹⁾, desenvolveram um coletor em que não se utiliza uma placa de metal absorvedora de calor, como nos coletores de energia solar tradicionais. Usam-se como absorvedor os próprios tubos negros de plástico ou metálicos, que aparecem no coletor em forma espiral. O coletor possui uma cobertura de vidro transparente na parte superior, isolamento térmico nas laterais e na parte inferior, além de uma bomba para fazer a circulação do fluido. Fêz-se uma comparação dos resultados obtidos com os dois tipos de tubos, obtendo-se uma variação de temperatura entre 13,4 e 21,8 °C, e eficiência entre 53,8 e 79,2 % com tubos de plástico; entre 19,3 e 30 °C, 66,2 e 83,7 % com tubos metálicos. Concluiu-se que, para temperaturas baixas, o coletor estudado possui melhor eficiência que os convencionais.

3.7. Nossa Proposta

3.7.1. Justificativas

O uso em massa de sistemas solares para aquecimento de água esbarra, geralmente, no alto custo dos coletores convencionais, no fato dos mesmos serem de construção complicada por parte do próprio usuário, materiais empregados não serem competitivos, etc.. Eles permitem obter temperaturas de até 90°C com rendimento entre 20 e 60 %, dependendo estes valores das características técnicas do coletor, do ângulo de incidência da radiação solar e da temperatura instantânea do coletor.

Em muitas aplicações a temperatura de uso da água pode ser inferior a 59 ou 60 °C. Para o usuário o importante não é o rendimento termodinâmico e sim o rendimento econômico do siste-

ma, quer dizer, o importante não é quantas calorias podem-se obter por m² de coletor mas sim quantas calorias podem-se obter por cruzeiro investido.

A redução do investimento inicial ampliará a faixa de utilização dos sistemas solares, gerando benefícios econômicos para o usuário e para o país, aumentando-se a demanda e consequentemente, as pesquisas que levarão a sistemas ainda mais rendáveis.

3.2.2. Considerações Técnicas

O rendimento termodinâmico de um coletor solar está condicionado pelos seguintes fatores:

- taxa de absorção de radiação visível;
- emissão de radiação infravermelha;
- perdas de calor por condução, convecção e irradiação.

A taxa de absorção de radiação visível na superfície de absorção, pode facilmente atingir valores superiores a 90 %, porém a anteposição de superfícies transparentes (vidros ou plásticos) aumentam a reflexão com forte influência do ângulo de incidência. A superfície transparente tem por finalidade diminuir as perdas por radiação infravermelha e condução-convecção (vidro) ou só as últimas (plástico).

A emissão de radiação infravermelha para um corpo negro é:

$$Q = \sigma T^4 \quad (8)$$

para T entre 30 e 100 °C o comprimento de onda de máxima emissão ocorre em uma faixa para a qual o vidro é opaco, diminuindo, portanto, as perdas por radiação. É óbvio que as perdas aumentarão à medida que aumentar a temperatura e, para superfícies de igual temperatura média, e diferente distribuição de temperaturas, será melhor aquela que minimizar a soma das perdas:

$$\iint \sigma T^4(x,y) dx dy \quad (9)$$

e, portanto a que mais se aproxima de $T =$ constante.

As perdas por radiação podem ser diminuídas usando-se superfícies seletivas com alto coeficiente de absorção (emissão),

no visível, e baixo coeficiente de emissão (absorção), no infravermelho.

As perdas por condução-convecção são condideravelmente diminuídas pela cobertura transparente, e podem diminuir-se ainda mais com o uso de estruturas anti-convecturas (honeycombs).

3.7.3. Considerações Econômicas

O custo de matéria prima de um coletor convencional de 1m² (custo este fornecido pelo comércio da região de Maringá-PR.), com tubulação de ferro galvanizado e cobertura de vidro simples é aproximadamente o seguinte:

. canos e acessórios	3,2	ORTN ¹⁰
. vidro	1,1	ORTN
. isolante térmico	0,6	ORTN
. caixa	1,6	ORTN
. vedação	0,6	ORTN
. placa coletora	1,5	ORTN
. mat. de solda, parafusos, tintas, etc.	1,4	ORTN
T O T A L:	10,0	ORTN

Para evitar-se problemas de corrosão, seria razoável substituir os canos galvanizados por canos de cobre ou latão e solda de estanho ou latão, o que implicará em um aumento de custo em duas ou três ORTNs.

Finalmente, colocando dois vidros o rendimento do coletor pode aumentar 10 a 15 % e o custo da matéria-prima aumentará em 1,2 ORTN.

3.7.4. Modelo de Coletor Proposto

A idéia básica consiste em usar uma serpentina (espiral) de P.V.C. negro flexível, com ou sem cobertura de plástico transparente.

Considernado-se que a serpentina tenha uma resistência hidrodinâmica condideravelmente maior que a de um coletor con-

¹⁰ ORTN - Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional.

vencional, para evitar temperaturas excessivamente altas e perdas de calor por radiação e convecção, visto que, o fluido permanece estático nesta configuração, o sistema deverá estar dotado de uma bomba hidráulica forçando a circulação de água.

Sendo o sistema um circuito fechado, deve-se esperar um pequeno consumo de energia elétrica da bomba para manter a circulação.

Admitindo que uma bomba comercial (conforme a testada) de 250 Watts de consumo sustenta 10 m² de coletor, a incidência por m² será menor que 0,8 ORTN. Para o caso mais simples de uma serpentina de P.V.C., de uma polegada de diâmetro, o custo total do m² de coletor, incluindo a incidência da bomba, deverá ser menor que 2,0 ORTN.

Supondo que o aproveitamento energético do coletor convencional e do modelo proposto fossem iguais, para cada ORTN investida, deve-se cumprir:

$$\frac{e_1 Q}{C_1} = \frac{e_2 Q - W}{C_2} \quad (10)$$

onde Q é a energia solar incidente; e_1 e e_2 são as eficiências (rendimento termodinâmico, ou seja, a quantidade de energia aproveitada sobre a quantidade de energia recebida proveniente da radiação solar) do coletor convencional e do proposto, respectivamente; C_1 e C_2 os custos/m² dos mesmos; e W é a energia consumida pela bomba do coletor proposto para cada m². Portanto a EQUAÇÃO (10) fica da forma:

$$e_2 (\%) = e_1 C_2 / C_1 + W/Q \quad (11)$$

o termo W/Q será em geral para as condições citadas (e para regiões com insolação da ordem 0,5) inferior a 0,14 (14 %). Se $e_1 = 50$ %, e_2 será :

$$e_2 (\%) = 50.2,0/10 + 14 = 24 \%$$

isto quer dizer que, rendiemntos termodinâmicos superiores a 24 % levariam o coletor proposto a ser mais rentável que os convencionais.

De igual forma poderá ser feito o cálculo para um coletor de serpentina de P.V.C. com cobertura plástica transparente, sem e com isolamento térmico posterior.

O presente trabalho, propõe o estudo do comportamento real de diferentes configurações de coletores em serpentina (espirais) de P.V.C. negro, maximizando a eficiência (e_2) determinando ao mesmo tempo a duração dos componentes (canos de P.V.C. , coberturas transparentes, bombas, etc.).

3.7.5. Metodologia de Trabalho

3.7.5.1. Bomba

Sendo a bomba um componente fundamental do sistema, serão submetidas a testes de comportamento bombas pequenas capazes de atender sistemas entre 4 e 20 m², determinando-se o rendimento para diferentes cargas hidrodinâmicas e o comportamento em condições de uso prolongado.

3.7.5.2. Serpentina

Será estudada a resistência hidrodinâmica para diferentes diâmetros das tubulações de P.V.C., e diferentes configurações geométricas da serpentina e suas associações em séries e em paralelo.

Durante toda a experiência, amostras de material serão submetidas a diferentes condições de uso para estudar sua deterioração no tempo em função da temperatura, absorção de ultravioleta, etc..

3.7.5.3. Comportamento Termodinâmico

Será estudado o rendimento termodinâmico das diferentes configurações para diferentes condições de radiação incidente, diferença de temperatura entre o ar e a água na entrada da serpentina, analisando em todos os casos o efeito da existência ou não de coberturas plásticas transparentes e posterior isolamento térmico.

3.7.5.4. Análise de Custos

Em todos os casos serão calculados os custos unitários dos modelos analisados, bem como, as dificuldades construtivas de operação e manutenção dos respectivos sistemas.

3.7.6. Resultados Esperados

Como resultado da pesquisa, espera-se obter subsídios para a construção de sistemas de baixo custo para aquecimento de água, em uma faixa de temperatura não inferior a 45 °C (temperatura de uso sanitário), com técnicas simples e materiais convencionais fáceis de adquirir, usar e manter.

CAPÍTULO IV

ASPECTOS CONSTRUTIVOS E MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DOS COLETORES

4.1. Aspectos Construtivos

4.1.1. Suporte

Para sustentar o coletor (mangueiras) foi utilizado uma estrutura metálica (FIGURA 9). As laterais foram feitas com cantoneiras de uma polegada que sustentam um conjunto de reticulados de ferro redondo de 3/8 polegadas, com peso total de 20 Kg (peso máximo de 50 kg).

4.1.2. Serpentina

A mangueira plástica, de 3/4 polegadas, foi enrolada em espiral partindo de um raio de curvatura de 18,5 até 80 centímetros o que suscitou numa área útil de 1,9 m², rematada em seus extremos por conectores de pressão (FIGURA 10). No início deste processo, as mangueiras foram previamente presas com arames, facilitando o trabalho de montagem.

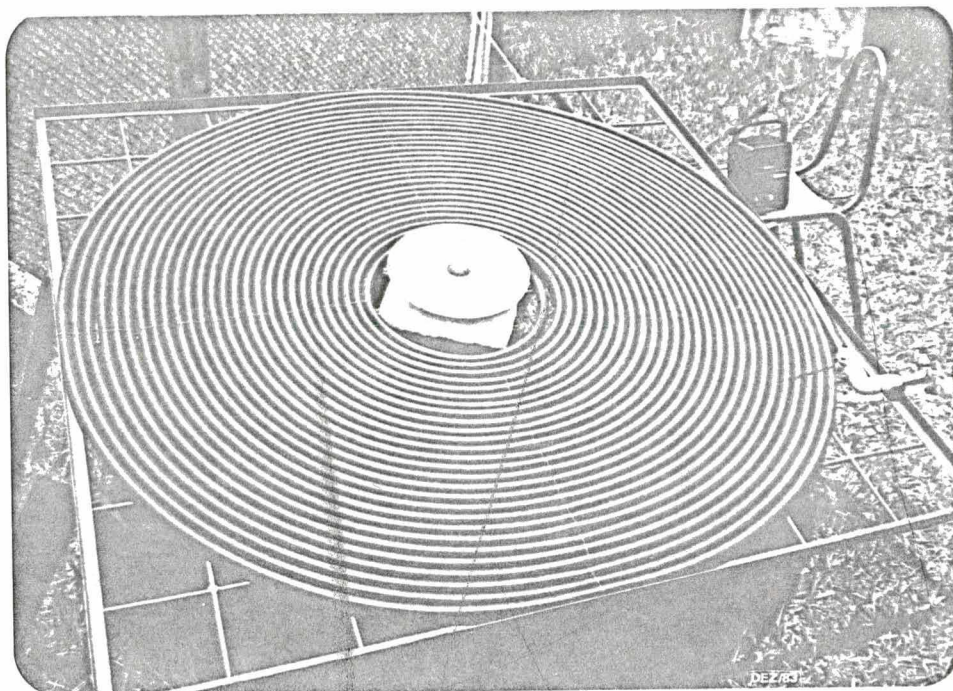


Figura 9 - Detalhes do suporte



Figura 10 - Diferentes formas e tamanhos de algumas serpentinas pesquisadas.

4.1.3. Configuração do Sistema

O coletor foi instalado a uma altura de 50 cm do chão na posição horizontal, visto que, a maior parte das medidas foram feitas no verão. A bomba hidráulica aparece entre o depósito de água e o coletor, onde força a entrada d'água pela parte periférica, retornando ao depósito pelo centro. Para algumas experiências, eliminou-se a bomba, conectando diretamente da rede de distribuição a entrada d'água, medindo-se o fluxo na saída.

4.2. Materiais Utilizados na Experiência e seu Comportamento

4.2.1. Mangueira

Antes de se construir o coletor, foram testadas as propriedades mecânicas de diferentes marcas de mangueiras (tubos de polietileno negro flexível comercializados na região) dos seguintes fornecedores: INPLA Ltda - Londrina, PR., Jacaré Tubos e Conexões - Sul Brasileira S/A Plásticos e Metarlugia - Curitiba, PR., Rebouças Indústria de Plásticos Ltda - Londrina, PR., e Cia Industrial de Plásticos - CIPLA, GRUPO Hansen - Joinville, SC. Devido às suas características como cor, durabilidade, manejo, flexibilidade, (TABELA 1), foi escolhida a mangueira de 3/4 polegadas da marca CIPLA⁽⁴²⁾.

Uma pesquisa informal, entre usuários do meio rural da região, que utilizam tais tubos em irrigação, confirmou que os tubos escolhidos não apresentam modificações visíveis em suas características após dois ou mais anos de uso, mesmo quando submetidos às condições de intempéries.

Escolheu -se a bitola de 3/4 polegadas por não apresentar carga hidrodinâmica demasiadamente grande, ter um peso razoável quando cheia d'água (15 l/m^2), não apresentar mais de 7 dm^2 de área morta na parte central para cada módulo, fácil manejo, etc. Foi determinada a carga hidrodinâmica para dois tipos de bitola. Com 100 metros de mangueira de 1/2 polegada, área de $1,5 \text{ m}^2$, a carga hidrodinâmica foi equivalente a 2,30 metros de coluna d'água. Com 80 metros de mangueira de 3/4 polegada, área de $1,6 \text{ m}^2$, a carga hidrodinâmica foi equivalente a 1,90 metros de coluna d'a-

TABELA 1

Características das diversas marcas de mangueiras testadas
após seis meses de exposição às intempéries

Marca	Bitola	Cor (nova)	Cor (após testes)	Características da superfície interna	Flexibilidade	Ráio mínimo de curvatura (cm)
CIPLA	1/2	Preto brilhante	preto	lisa	semi-flexível	9
	3/4	Preto brilhante	preto	lisa	semi-flexível	15
INPLA	1/2	Preto fosco	cinza escuro	rugosa	dura	10
	3/4	Preto fosco	cinza escuro	rugosa	dura	20
JACARÉ	1/2	Preto fosco	cinza escuro	rugosa	dura	10
	3/4	Preto fosco	cinza escuro	rugosa	dura	20
REBOUÇAS	1/2	Preto fosco	cinza escuro	rugosa	dura	10
	3/4	Preto fosco	cinza escuro	rugosa	dura	20

gua.

4.2.2. Bomba

No comércio, existe um bom número de bombas hidráulicas, com potência entre 1/3 e 2 HP, capazes de atender, sem problemas de durabilidade e consumo, instalações das estudadas para superfícies de coleção de até mais de 200 m², dependendo das bitolas das mangueiras utilizadas, do tamanho dos módulos e do tipo de interligação entre os mesmos (série e paralelo).

A título de exemplo (TABELA 2), são apresentadas as características de dois tipos de bombas comerciais de diferentes potências.

4.2.3. Cobertura Transparente

Durante a experiência, testou-se o efeito anticonvec_{tivo} de uma cobertura plástica transparente, usando-se polietileno de 0,04 mm de espessura (FIGURA 13).

4.2.4. Isolante Térmico

Testou-se também o efeito produzido pela _{isolação} térmica da parte inferior do coletor, usando uma camada de isopor (polistireno expandido) com 4 cm de espessura (FIGURA 13).

TABELA 2

Lista de rendimentos das bombas de 1/3 e 1/2 HP*.

Altura manométrica, total em metros, h / correspondente vazões em m^3 /hora, f .													
f	h	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Bomba													
1/3		6,9	6,8	6,5	6,3	5,8	5,2	4,0	2,5	0,8			
1/2			7,3	7,0	6,6	6,0	5,5	4,5	3,5	2,0	0,5		

* Modêlos CA-1 e CA-2 (DARKA), motor II polos - 3500 RPM - 60 Hz.

Vizando o uso em pequenas instalações domiciliares, testou-se uma bomba (FIGURA 12) usada em máquinas de lavar roupa, que tem um baixo rendimento (TABELA 3) mas preço unitário baixo comparando a bombas comumente utilizadas, que se assemelha bem às condições da experiência, por apresentar uma vazão baixa, e sem apresentar defeitos no decorrer da pesquisa, escolheu-se esta bomba hidráulica.

TABELA 3

Lista de rendimentos da bomba utilizada na experiência*.

Altura (cm)	Fluxo (l/min.)
7,5	17,90
26,5	17,64
46,5	16,86
66,5	15,90
86,6	15,00
106,5	14,22
126,5	13,38
146,5	12,24
166,5	11,76
186,5	10,08
206,5	7,80

* Consumo: 235 Watts.

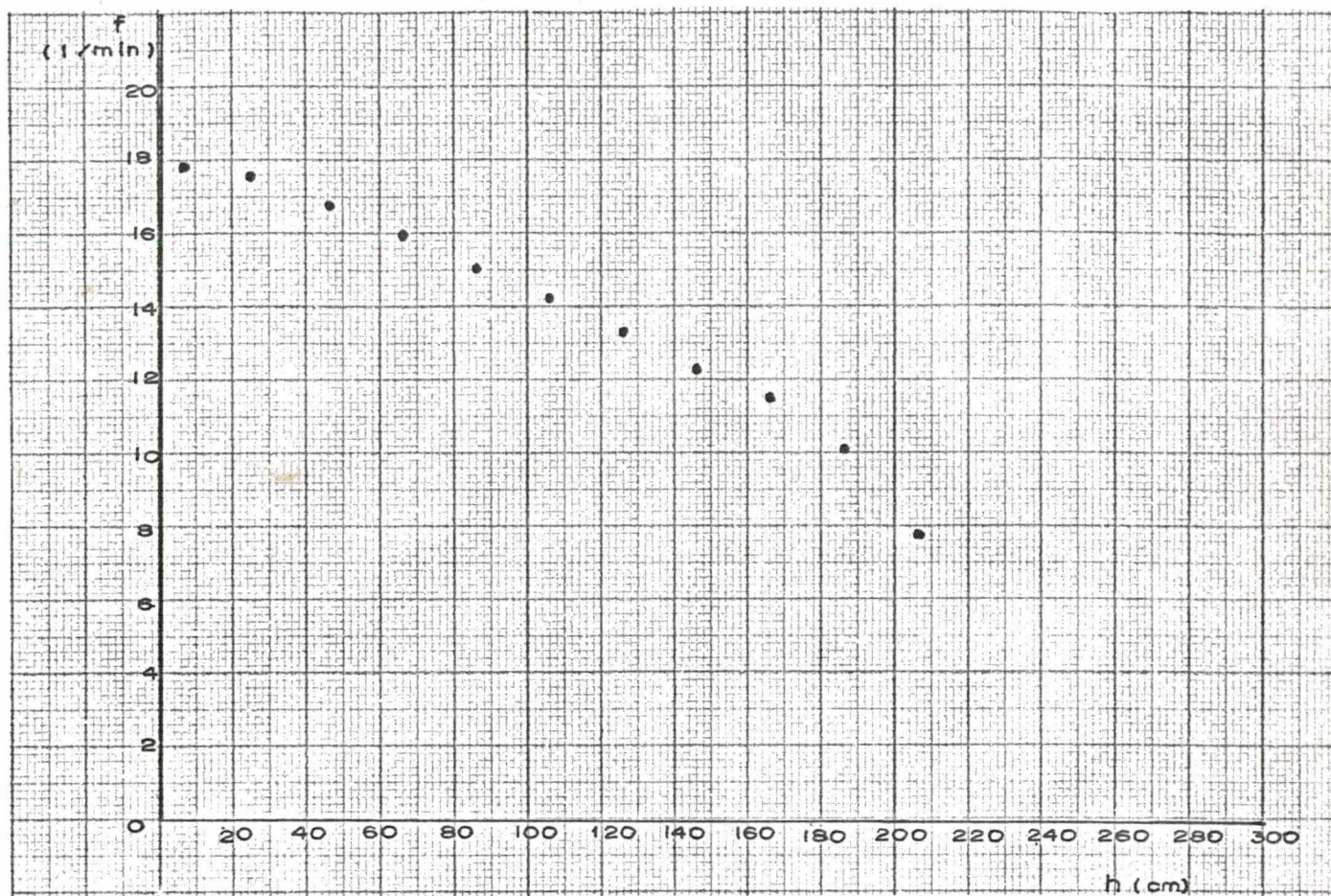


Figura 11 - Gráfico do fluxo (vazão) em função da altura para a bomba utilizada na experiência.

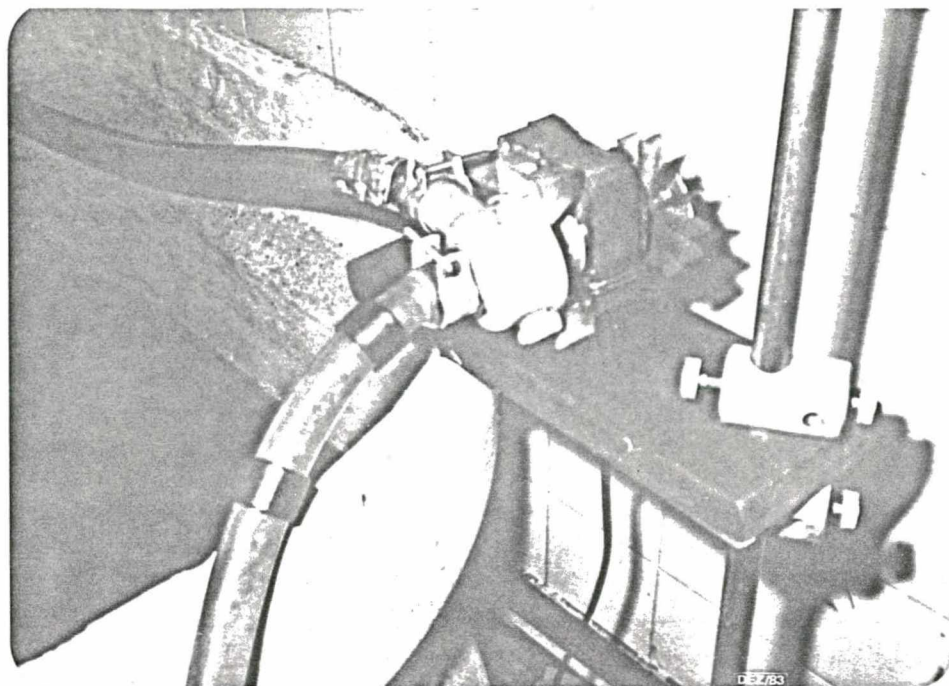


Figura 12 - Bomba utilizada no decorrer da experiência.

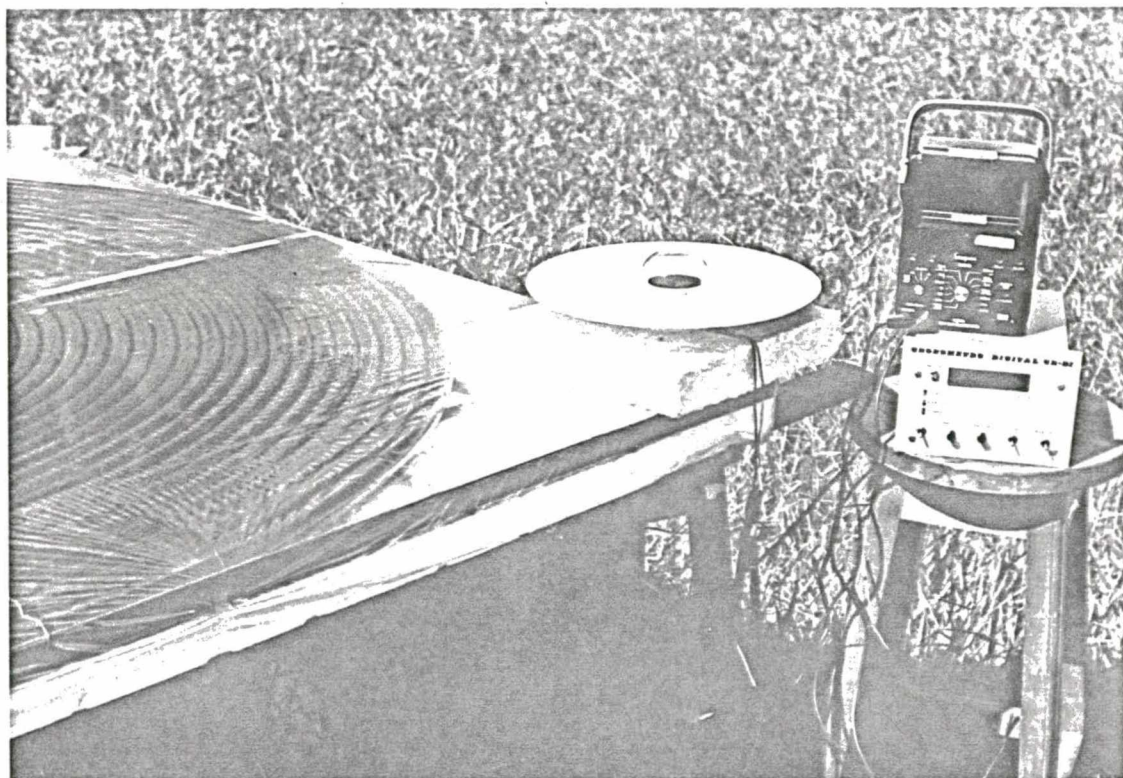


Figura 13 - Detalhes da cobertura transparente e isolante térmico utilizados no coletor.

CAPÍTULO V

MODELO PROPOSTO E RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Considerações Gerais

Antes de explicitar o modelo proposto, torna-se necessário fazer algumas considerações:

1) O número de parâmetros meteorológicos que influenciam o rendimento do coletor é muito grande e escapa ao objetivo do presente trabalho analisar a influência de cada um deles. Utilizar-se-á somente, como variável meteorológica independente, além da radiação solar, a temperatura ambiente. Ao se tomar um grande número de dados, para diferentes condições de ventilação, umidade, nebulosidade e hora do dia, o efeito destes parâmetros será o de encobrir, parcialmente, a correlação entre o rendimento e os parâmetros considerados de forma explícita, conseqüentemente a dispersão dos pontos com respeito à reta de regressão deverá aumentar.

2) Não poderão ser usados dados simultâneos de temperatura de entrada e saída d'água do coletor, temperatura ambiente e radiação, isto porque existe um retardamento entre o tempo em que a amostra d'água entra e o tempo em que esta sai, em função do fluxo e da capacidade do coletor.

A FIGURA 14 ilustra o problema para três casos hipotéticos. No caso (a) a amostra d'água em análise é menor que a capacidade do coletor, no caso (b) é igual e no caso (c) é maior. Ainda nesta figura, τ é a variável "tempo"; τ_a é um tempo arbitrário igual para todas as observações, (τ_a foi fixado em 20 minu-

tos, nestetrabalho) que determina, em função do fluxo, o tamanho da amostra; τ_v é um intervalo de tempo variável para cada observação, dado por:

$$\tau_v = \frac{C}{\dot{m}} \quad (12)$$

que representa o tempo necessário para a amostra começar a sair do coletor; C é a capacidade do coletor dado em gramas; \dot{m} é a vazão mássica de fluido dado em gramas/minuto.

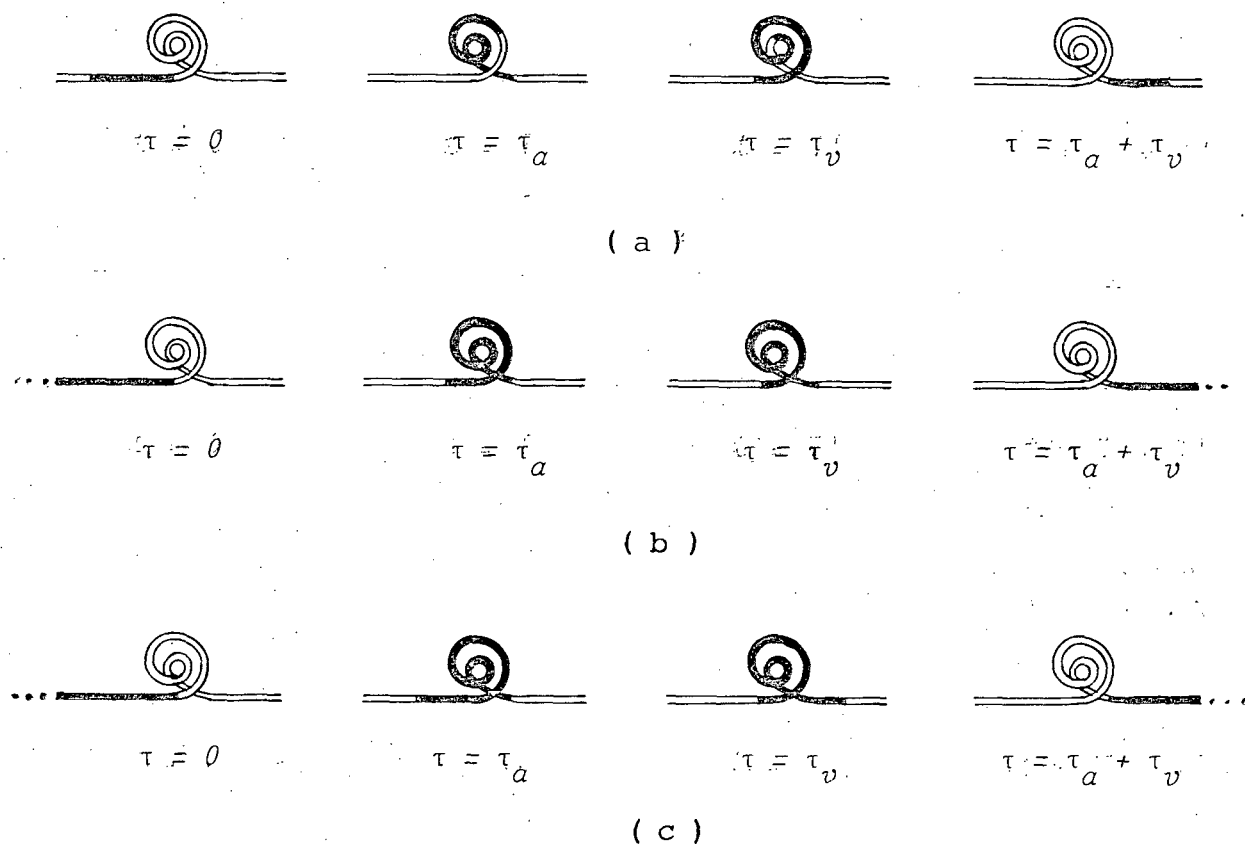


Figura 14 Representação esquemática do funcionamento experimental do coletor. (a) amostra d'agua menor que a capacidade do coletor; (b) amostra d'agua igual a capacidade do coletor; (c) amostra d'agua maior que a capacidade do coletor.

3) O número de observações consideradas, será menor que o número total de observações executadas. Do conjunto de dados (ANEXO 2), foram eliminados aqueles que por alguma circunstância eram duvidosos. Encontram-se nesse caso, observações em que foram registradas variações de fluxo durante a observação, mudanças bruscas das condições meteorológicas ou bloqueio acidental da radiação solar incidente.

5.2. Modelo de cálculo para as correlações

Inicialmente, foram propostas diferentes equações para testar a correlação entre o rendimento do coletor e parâmetros como: radiação, temperatura da água, fluxo e temperatura ambiente. Basicamente, foram testadas (ver programa de cálculo no ANEXO 1) as seguintes:

$$y = ax + bz \quad (13)$$

$$y = ax + ct \quad (14)$$

$$y = ax + bz + ct \quad (15)$$

$$y = ax + ct + dv \quad (16)$$

$$y = ax + bz + ct + dv \quad (17)$$

onde: $y = \dot{m} p \Delta T / A$, que constitui o calor aproveitado pelo coletor, dado em cal/cm² min.;

\dot{m} é a vazão mássica de fluido circulante em g /min.;

p é a capacidade calorífica específica do fluido circulante dado em cal/g °C, $k_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$;

$\Delta T = T_s - T_e$ é a diferença de temperatura do fluido entre as secções de saída e entrada do coletor solar (salto térmico) dado em °C;

A é a área do absorvedor em cm²;

$x = Q$ é o fluxo de radiação solar total dado em cal/cm² min.;

a é uma constante adimensional de valores positivos;
 $z = \sigma \bar{T}^4$ é dado em $\text{cal/cm}^2 \text{ min}^{12}$, que é a perda de calor por irradiação;

b é uma constante adimensional e certamente de valores negativos;

σ é a constante de Stefan-Boltzmann,
 $\sigma = 81,99048 \times 10^{-12} \text{ cal/cm}^2 \text{ min K}^4$;

$\bar{T} = \frac{T_s + T_e}{2}$ (temperatura média do coletor) é a média das temperaturas de entrada e saída do coletor solar, dado em K;

$t = T_a - \bar{T}$ é a diferença de temperatura entre a temperatura ambiente e a temperatura média do fluido em $^{\circ}\text{C}$;

c é uma constante dada em $\text{cal/cm}^2 \text{ min } ^{\circ}\text{C}$, e certamente de valores positivos;

T_a é a temperatura ambiente dado em $^{\circ}\text{C}$;

$v = \sigma T_a^4$ é o ganho de calor por irradiação infravermelha e dado por $\text{cal/cm}^2 \text{ min}$;

d é uma constante adimensional e certamente de valores positivos.

Deve-se notar que:

- a variável y é associada com o calor aproveitado pelo coletor;
- a variável x é associada com o calor recebido por radiação solar de ondas curtas, pelo absorvedor;
- a variável z é associada com a perda de calor por irradiação infravermelha;
- a variável t é associada com a perda de calor por condução e convecção;
- a variável v é associada com o ganho de calor por irradiação infravermelha;
- as letras a, b, c , e d , são os parâmetros (coeficientes) da reta de regressão.

¹² Em caso de dúvidas sobre unidades e símbolos na energia solar, sugere-se consultar, W. A. BECKAMAN⁽⁴³⁾.

5.3. Obtenção dos Valores T_e , T_s , T_a e Q

Para calcular os valores de T_e , T_s , T_a e Q em cada experiência, foram efetuadas leituras instantâneas a cada minuto, tomando o valor como representativo dentro do intervalo de ± 20 segundos com respeito ao instante de leitura, obedecendo as seguintes equações:

$$T_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{e_i} \quad (18)$$

com $T_{e_1} = T_e$ (para $t = 0$) e $n = 20$

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{s_i} \quad (19)$$

com $T_{s_1} = T_s$ (para $t = T$) e $n = 20$

$$T_a = \frac{1}{u} \sum_{i=1}^u T_{a_i} \quad (20)$$

com $T_{a_1} = T_a$ (para $t=0$) e $u =$ número de minutos desde o começo da entrada da amostra até $t=T+20$ minutos (término da saída da amostra).

$$Q = \frac{1}{u} \sum_{i=1}^u Q_i \quad (21)$$

com $Q_1 = Q$ (para $t = 0$) e $u =$ números de minutos desde o começo da entrada da amostra até $t=T+20$ min, (término da saída da amostra).

Cada experiência foi realizada de forma independente da outra, quer dizer, o intervalo de tempo entre o começo de duas medições independentes, é no mínimo de 20 minutos.

Realizou-se observações para os casos de um coletor nu (serpentina horizontal sem proteção alguma), coletor com proteção isolante na parte inferior (coletor com isopor) e coletor com

proteção isolante e cobertura transparente na parte superior (coletor com plástico e isopor).

Os valores obtidos depois de expurgados, são mostrados no ANEXO 2, para os três casos.

5.4. Análise das Retas de Regressão Obtidas

Nas TABELAS 4, 5 e 6, aparecem os resultados dos coeficientes das retas, a partir dos valores obtidos (programa e dados, ANEXO 1 e ANEXO 2) aplicados às EQUAÇÕES (13), (14), (15), (16) e (17), respectivamente, para os três casos observados: coletor nu, coletor com isopor e coletor com plástico e isopor.

TABELA 4

Resultados dos coeficientes da reta para o coletor nu

EQUAÇÃO	coeficientes				S (variança)
	a	b	c	d	
(13)	0,63	-0,72	-	-	0,23
(14)	0,86	-	0,46	-	0,06
(15)	0,81	0,08	0,05	-	0,06
(16)	0,81	-	0,05	0,08	0,06
(17)	0,81	-0,25	0,04	0,33	0,06

$$\bar{y} = 0,64$$

TABELA 5

Resultados dos coeficientes da reta para o coletor com isopor

EQUAÇÃO	coeficientes				S (variança)
	a	b	c	d	
(13)	0,62	-0,01	-	-	0,15
(14)	0,95	-	0,04	-	0,08
(15)	0,97	-0,04	0,04	-	0,08
(16)	0,97	-	0,04	-0,35	0,08
(17)	0,97	-0,05	0,04	0,01	0,08

$$\bar{y} = 0,64$$

TABELA 6

Resultados dos coeficientes da reta para o coletor com plástico e isopor

EQUAÇÃO	coeficientes				S (variança)
	a	b	c	d	
(13)	0,79	- 0,16	-	-	0,09
(14)	0,78	-	0,02	-	0,06
(15)	0,78	-2,64	0,02	-	0,06
(16)	0,78	-	0,02	-2,64	0,06
(17)	0,78	0,02	0,02	-0,02	0,06

$$\bar{y} = 0,63$$

onde, nas TABELAS 4, 5 e 6 : s é o desvio quadrático médio (variança) com respeito à reta de regressão, dado por:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{\text{medido}_i} - y_{\text{calculado}_i})^2 \quad (22)$$

y_{medido} é o calor aproveitado pelo coletor;

$y_{\text{calculado}}$ é o valor teórico do calor aproveitado pelo coletor em função dos coeficientes para cada caso.

\bar{y} é o valor médio do calor aproveitado pelo coletor, dado por:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (23)$$

Observa-se que para os três casos analisados, o S não apresenta diferenças significativas quando se usa as EQUAÇÕES (14), (15), (16) ou (17). É óbvio que a EQUAÇÃO (13) não é uma boa aproximação do processo físico já que é a única que apresenta um S

consideravelmente maior do que as outras.

A EQUAÇÃO (15), para o caso do coletor nu, apresenta um valor positivo para o coeficiente b o que é fisicamente inaceitável já que representaria um ganho de energia, no termo que deve levar em conta as perdas por irradiação infravermelha. As mesmas circunstâncias se dão com o termo que leva em conta o ganho devido à radiação infravermelha (coeficiente d) na EQUAÇÃO (16) (coletor com isopor) e (16) e (17) (coletor com plástico e isopor).

A única que apresenta coeficientes coerentes para os três casos, é a EQUAÇÃO (14), que sendo simples, não apresenta um S apreciavelmente maior do que as outras, razões pelas quais foi escolhida como a mais apropriada para analisar o comportamento do coletor proposto.

5.5. Análise dos Resultados Obtidos

Com a finalidade de analisar os resultados obtidos, foram definidos e calculados (programa de cálculo ANEXO1), para a reta de regressão escolhida os seguintes parâmetros:

1) Média dos erros relativos

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y - y_c}{y}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{ax - ct}{y} \right)$$

finalmente:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{n} \left[1 - a \frac{\sum_{i=1}^n x(i)}{\sum_{i=1}^n y(i)} - c \frac{\sum_{i=1}^n t(i)}{\sum_{i=1}^n y(i)} \right] \quad (24)$$

2) Média do valor absoluto dos erros relativos

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(|y - ax - ct| / y \right)$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(|y(i) - ax(i) - ct(i)|)}{y(i)} \quad (25)$$

3) Média quadrática do erro relativo

$$\epsilon_2 = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(y - ax - ct)^2}{y^2} \right] \right\}^{1/2}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_2 = & \left\{ \frac{1}{n} \left[1 - 2a \sum_{i=1}^n \frac{x(i)}{y(i)} + a^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{x(i)}{y(i)} \right)^2 - \right. \right. \\ & - 2c \sum_{i=1}^n \frac{t(i)}{y(i)} + 2ac \sum_{i=1}^n \frac{x(i)}{y(i)} \cdot \frac{t(i)}{y(i)} + \\ & \left. \left. + c^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{t(i)}{y(i)} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (26) \end{aligned}$$

Nas FIGURAS 15, 16 e 17 aparecem representados os valores do calor aproveitado medido (y_{medido}) em função do calor aproveitado calculado ($y_{\text{calculado}}$) para o coletor proposto, nos três casos.

Lembrando que:

$$y_{\text{medido}} = y = \frac{\dot{m} \cdot p \cdot \Delta T}{A} \quad (27)$$

e $y_{\text{calculado}} = y_c = ax + ct \quad (28)$

Os resultados obtidos (programa de cálculo ANEXO 1) que definem a reta de regressão escolhida, podem ser observados na

TABELA 7.

TABELA 7

Resultados encontrados a partir da equação escolhida

coletor	coeficientes		S	\bar{y}	ϵ_0	ϵ_1	ϵ_2
	a	c					
nu	0,86	0,05	0,06	0,64	0,006	0,11	0,16
c/isopor	0,95	0,04	0,08	0,64	-0,042	0,13	0,21
c/plástico e isopor	0,78	0,02	0,06	0,64	-0,015	0,09	0,11

No primeiro caso (coletor nu) ϵ_0 é menor, devido a quantidade de pontos ser maior que nos outros casos. Poder-se-ia igualmente analisar para valores maiores e menores que $\bar{y} \cdot \epsilon_1$ e ϵ_2 determinam o grau de confiabilidade dos dados obtidos com a reta de regressão, que podem considerar-se como sendo razoáveis para os fins propostos.

Nas FIGURAS 18 a 26, aparecem representados: as curvas de rendimento em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro; o calor aproveitado em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro; e a diferença de temperatura em função da radiação, tendo o rendimento como parâmetro para as três variantes do coletor. Tais figuras permitem visualizar as singularidades do comportamento de cada um.

A equação do rendimento¹¹ é:

$$\eta = a + \frac{ct}{x}, \text{ dado em \%} \quad (29)$$

¹¹"Rendimento" superiores a 100% não devem surpreender já que η mede a relação entre o calor aproveitado e a radiação recebida do Sol, todavia o sistema também pode ganhar energia do meio ambiente.

A FIGURA 27, delimita graficamente as regiões em que as variantes 2 (coletor com isolamento térmica inferior) e 3 (coletor com isolamento térmica e cobertura plástica transparente) possuem valores de maior rendimento, sendo:

$$\eta_2 = a_2 x + c_2 t, \text{ relativo a variante 2} \quad (30)$$

$$\eta_3 = a_3 x + c_3 t, \text{ relativo a variante 3} \quad (31)$$

mas $\eta_2 = \eta_3$, então:

$$t = \frac{a_2 - a_3}{c_3 - c_2} x. \quad (32)$$

A variante 1 (coletor nu) não foi considerada, devido a que sempre apresenta rendimentos menores que as mencionadas.

É óbvio que a escolha de uma ou outra variante, não poderá depender somente das características físicas do rendimento esperado para cada caso. Os custos relativos deverão entrar como uma variante a mais no problema.

Com a finalidade de ilustrar este aspecto, na TABELA 8 aparecem os custos calculados para cada tipo de coletor (com área do absorvedor de $1,9\text{m}^2$) na época da construção dos protótipos em função dos custos no mercado varejista da região de Maringá (PR).

5.6. Modelo de Comportamento de um Sistema Coletor-Acumulador em Função das Condições Ambientais.

A análise estatística levou a escolher uma função de regressão do tipo:

$$y = ax + ct \quad (33)$$

lembrando-se que:

$$y = \frac{\dot{m} p (T_s - T_e)}{A}$$

$$x = Q$$

$$t = T_a - \frac{T_s + T_e}{2}$$

TABELA 8

Custo relativo para cada tipo de coletor e de seus componentes

	variante 1 (ORTN)	variante 2 (ORTN)	variante 3 (ORTN)
Ferro p/suporte (15 Kg)	1	1	1
Mão de obra-solda	1,2	1,2	1,2
Mangueira (90 metros)	3,0	3,0	3,0
Conecções	0,1	0,1	0,1
Isolante térmico (isopor 4 cm espessura)	-	0,6	0,6
Cobertura transparente	-	-	0,2
Outros materiais (cola, vedantes, braçadeira, etc.)	0,08	0,1	0,3
Mão de obra-montagem (ORTN/dia)	1,0	1,1	1,4
CUSTO TOTAL (1,9m²)	6,38	7,1	7,3
CUSTO/m²	3,36	3,74	4,11

Chamando f ao fluxo, dado por:

$$f = \frac{dm}{d\tau} \quad (34)$$

onde: τ é o tempo.

A EQUAÇÃO (33), torna-se:

$$\frac{k}{A} f (T_s - T_e) = a Q + c T_a - \frac{c}{2} T_s - \frac{c}{2} T_e \quad (35)$$

Sendo M a massa total de água do sistema:

$$\frac{dT_e}{d\tau} = \frac{(T_s - T_e)}{M} f$$

ou seja:

$$T_s = T_e + \frac{M}{f} \frac{dT_e}{d\tau} \quad (36)$$

que substituindo na EQUAÇÃO (35), têm-se:

$$\frac{M p}{A} \frac{dT_e}{d\tau} = a Q(\tau) + c T_a(\tau) - c T_e - \frac{c M}{2f} \frac{dT_e}{d\tau} \quad (37)$$

Considerando T_e (temperatura de entrada) a temperatura média no acumulador, chamada diretamente de T_{ma} , $c' = c/p$, $a' = a/p$, $m_{ca} = M/A$ (que é a massa específica do sistema coletor-acumulador) e $\tau_{cc} = M/f$ (que é o tempo de ciclagem completo do sistema bomba-acumulador), a EQUAÇÃO (37), fica da forma:

$$\frac{dT_{ma}}{d\tau} + \frac{2c'}{2m_{ca} + c'\tau_{cc}} T_{ma} = \frac{2a'}{2m_{ca} + c'\tau_{cc}} Q(\tau) + \frac{2c'}{2m_{ca} + c'\tau_{cc}} T_a(\tau) \quad (38)$$

Esta equação (EQUAÇÃO 38), estabelece a relação entre a temperatura no acumulador e as condições ambientais (variação da radiação e da temperatura ambiente com o tempo).

A EQUAÇÃO (38), é uma equação diferencial do tipo:

$$\frac{dy}{dx} + ay = f(x) \quad (39)$$

e possui uma solução da forma:

$$y(x) = e^{-ax} \int_0^x f(x) e^{ax} dx + C e^{-ax} \quad (40)$$

No nosso caso $f(x)$ não é uma função analítica, e a expressão poderá ser integrada numericamente, ficando a EQUAÇÃO (40) da seguinte forma:

$$T_{ma}(\tau) = e^{-\frac{2c'}{2m_{ca}+c'} \tau} \int_0^\tau \left[\frac{2a'}{2m_{ca}+c'} Q(\tau) + \frac{2c'}{2m_{ca}+c'} T_a(\tau) \right] d\tau + C e^{-\frac{2c'}{2m_{ca}+c'} \tau} \quad (41)$$

para $\tau = 0$, $T_{ma}(0) = C$, que constitui a temperatura inicial do acumulador.

A título de exemplo, foi integrada numericamente a EQUAÇÃO (41) onde simulou-se, com base em resultados observados durante um ano, condições de radiação solar e ambientais para três tipos de dia (bom, médio e ruim) mostrados graficamente nas FIGURAS 28 para o verão e 29 para o inverno (ver dados da Estação Climatológica Principal de Maringá, ANEXO 3).

Nas TABELAS de 9 a 17, aparecem os resultados (programa de cálculo no ANEXO 1) da temperatura média final no acumulador (T_{mf}) e o rendimento (η) dos coletores para cada caso (ou seja: vários τ_{cc} e vários m_{ca}), onde pode ser comparado para inúmeras aplicações desejadas. Com tais tabelas, o usuário é capaz de escolher qual tipo de coletor seria o mais adequado para uma dada temperatura de uso da água em função do total a consumir (ver exemplos, ANEXO 4). Isto vai diretamente com os propósitos do presente trabalho que é a de simplificar a utilização dos coletores para o próprio usuário.

Deve-se notar no programa de cálculo (ANEXO 1) para as TABELAS de 9 a 17, de que o rendimento diário para os variados τ_{cc} (tempo de ciclagem completo do sistema bomba-acumulador) e m_{ca} (massa específica do sistema coletor-acumulador), é dado por:

$$\eta = m_{ca} \cdot \rho \frac{(T_{mf} - T_e)}{Q \cdot \tau}, \text{ dado em \%}. \quad (42)$$

$$\eta = \frac{\text{quantidade de calor aproveitado no dia}}{\text{quantidade de calor recebido no dia}}$$

Para rendimentos, encontrados nas TABELAS 9, 10 e 11, superiores a 100 % é pelo fato de ser dias de verão, isto é, temperaturas ambientais relativamente altas com médias superiores às da temperatura de entrada ($T_e = 24 \text{ }^\circ\text{C}$), havendo então o ganho de calor do meio ambiente não considerado na EQUAÇÃO (42). O mesmo fato acontece na TABELA 17 para rendimentos negativos, onde considera dia ruim de inverno, proporcionando perdas de calor.

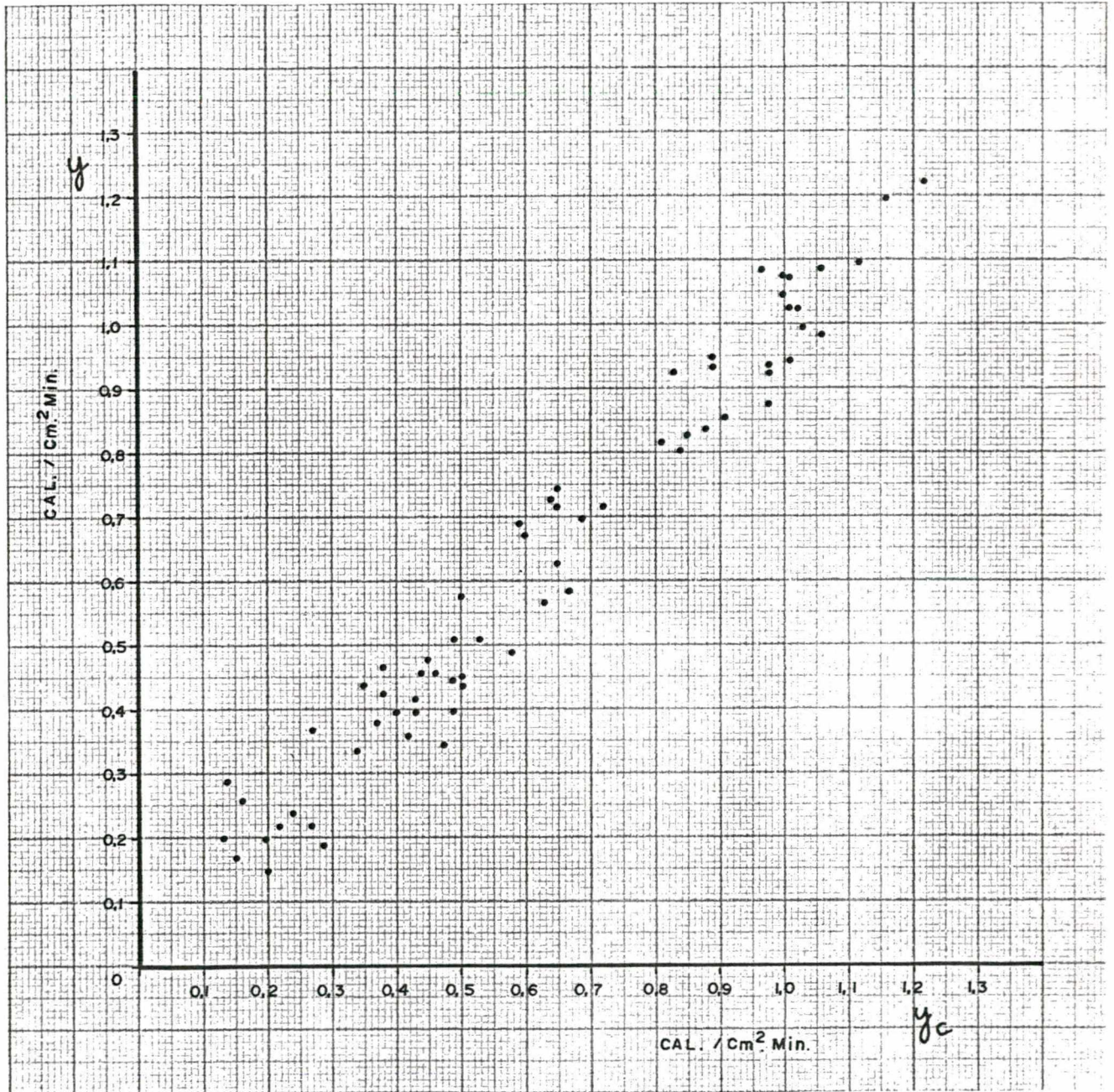


Figura 15. Calor aproveitado medido, em função do calor aproveitado calculado (coletor nu).

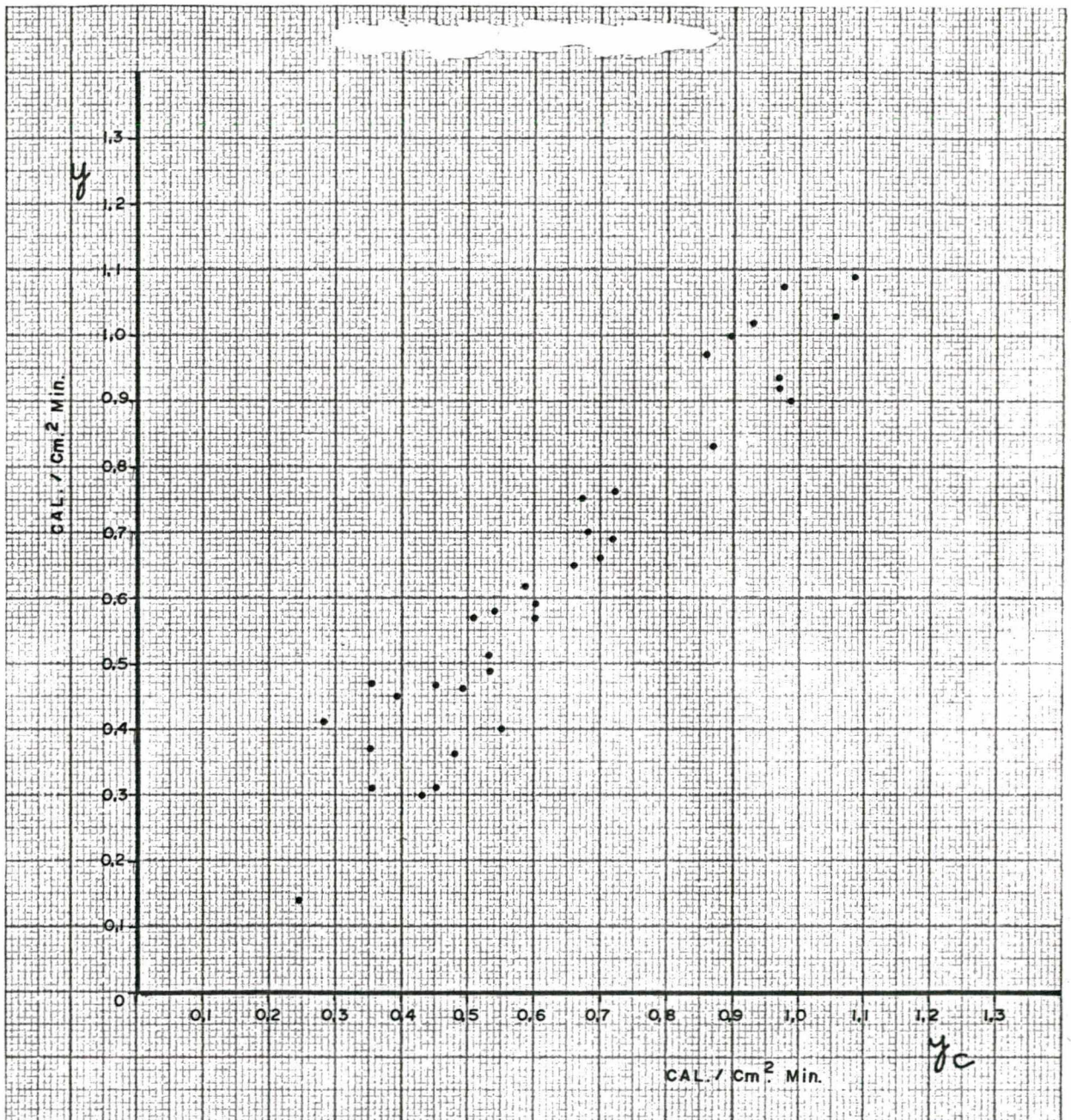


Figura 16. Calor aproveitado medido, em função do calor aproveitado calculado (coletor com isopor).

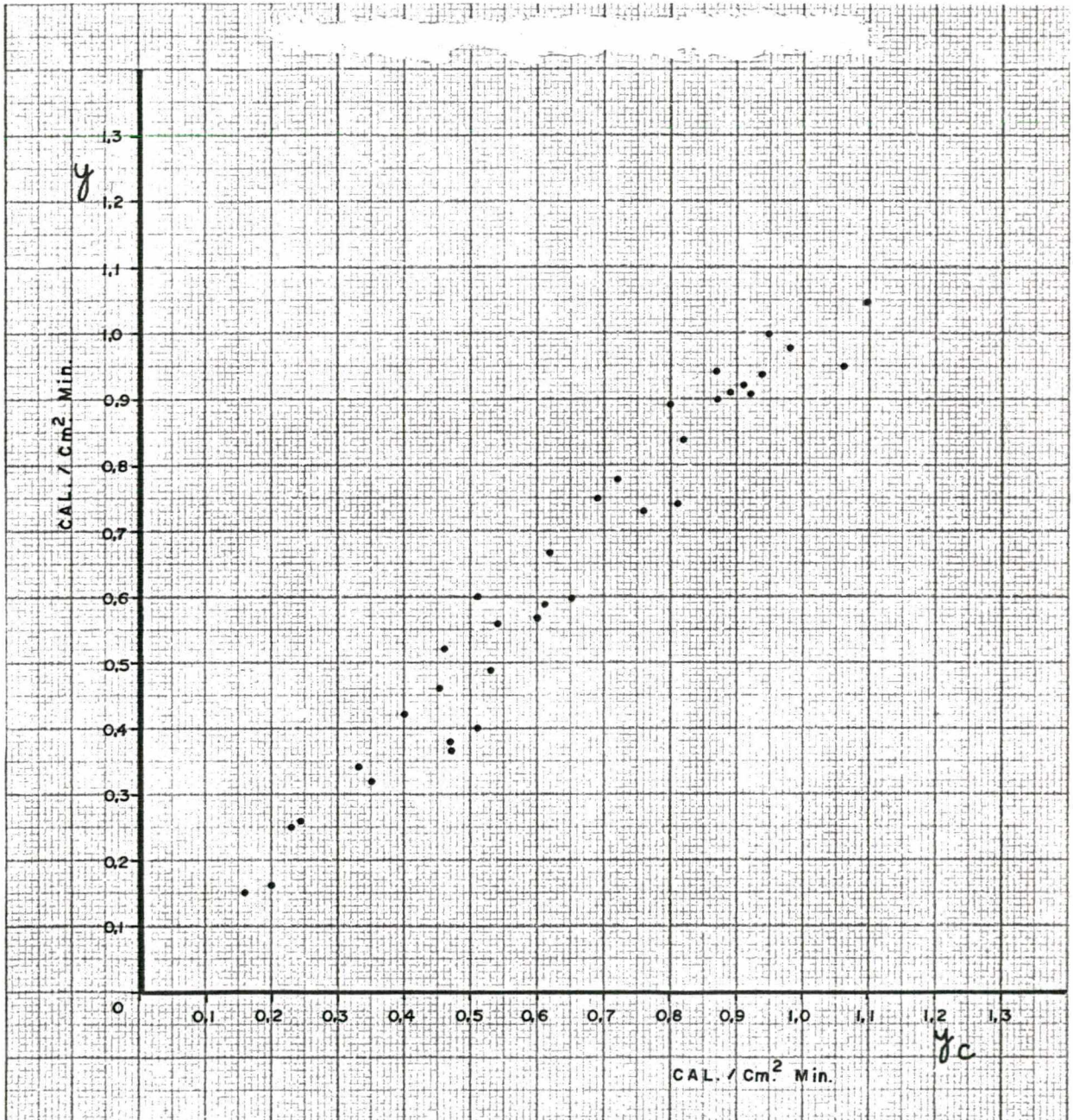


Figura 17. Calor aproveitado medido, em função do calor aproveitado calculado (coletor com plástico e isopor).

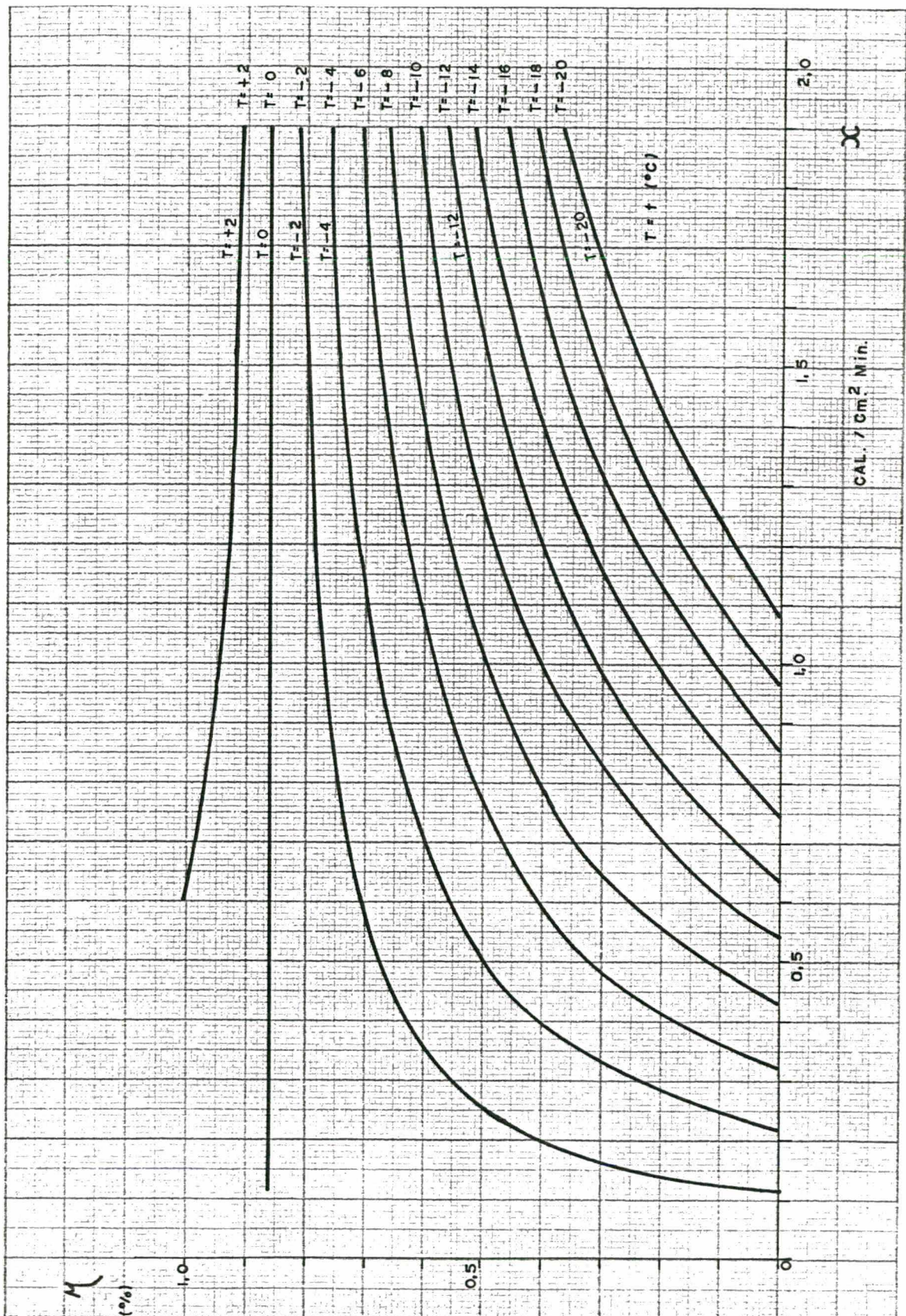


Figura 18. Curvas de rendimento em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro (coletor nu).

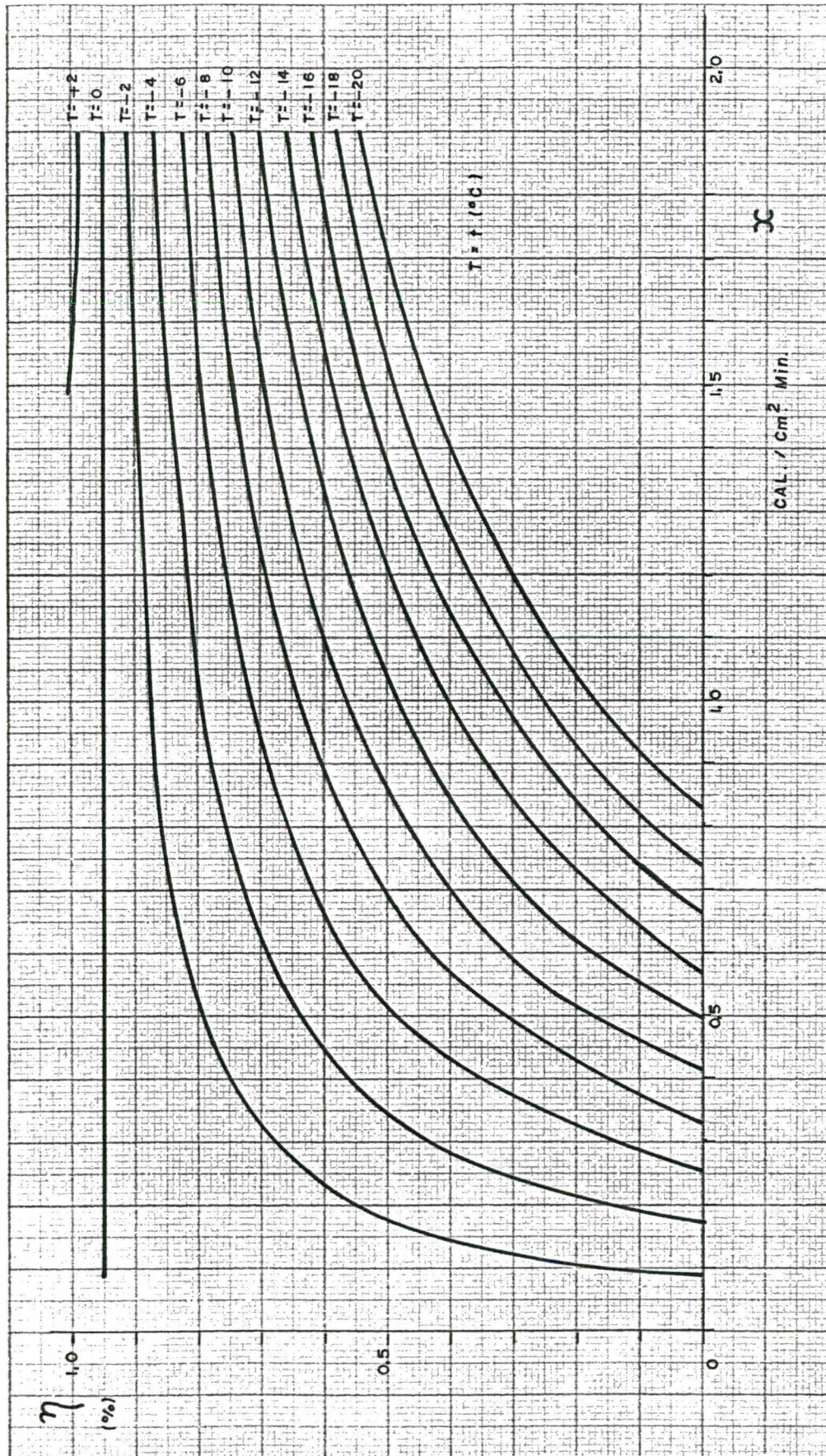


Figura 19. Curvas de rendimento em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro (coletor c/isopor).

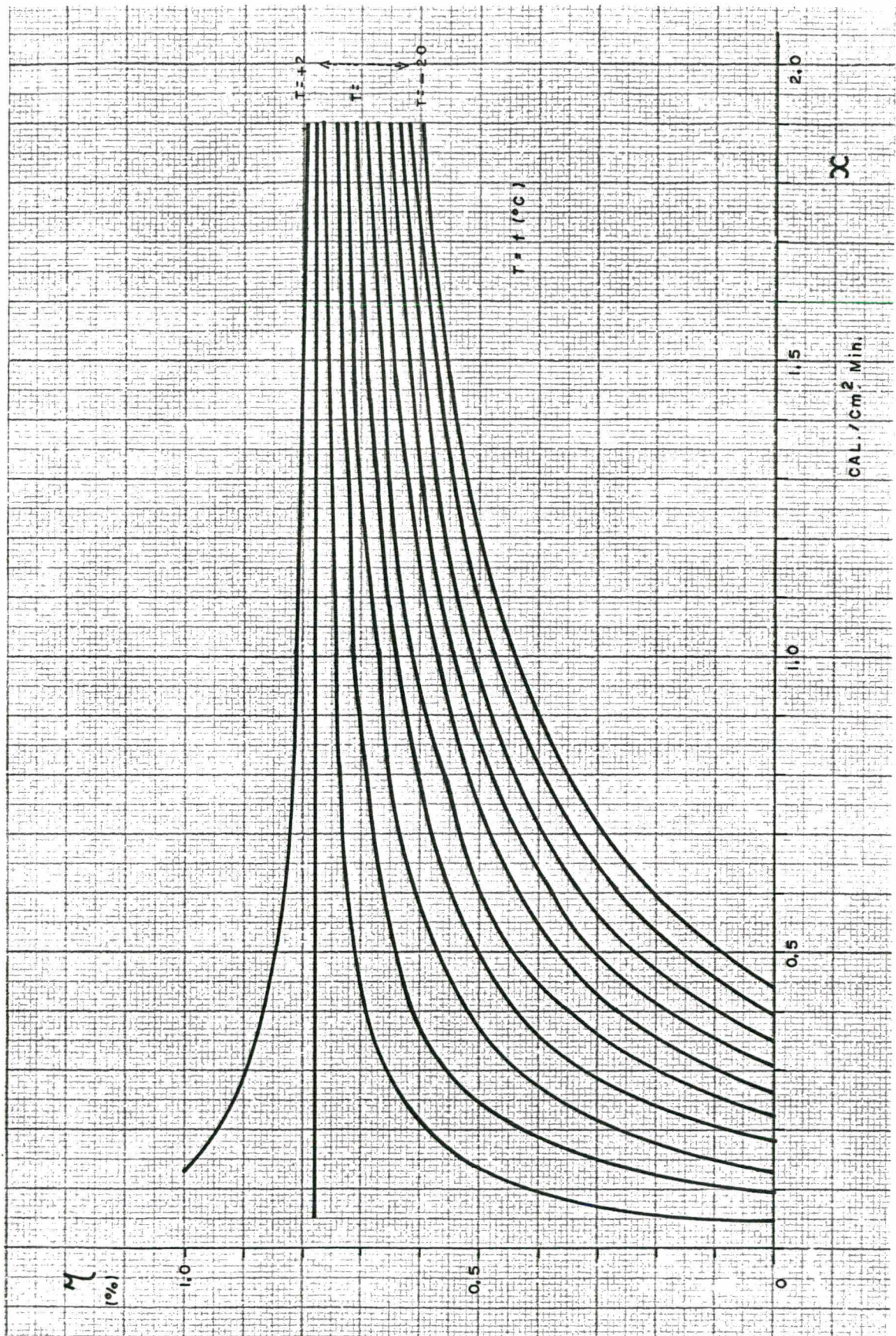


Figura 20. Curvas de rendimento em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro (coletor com plástico e isopor).

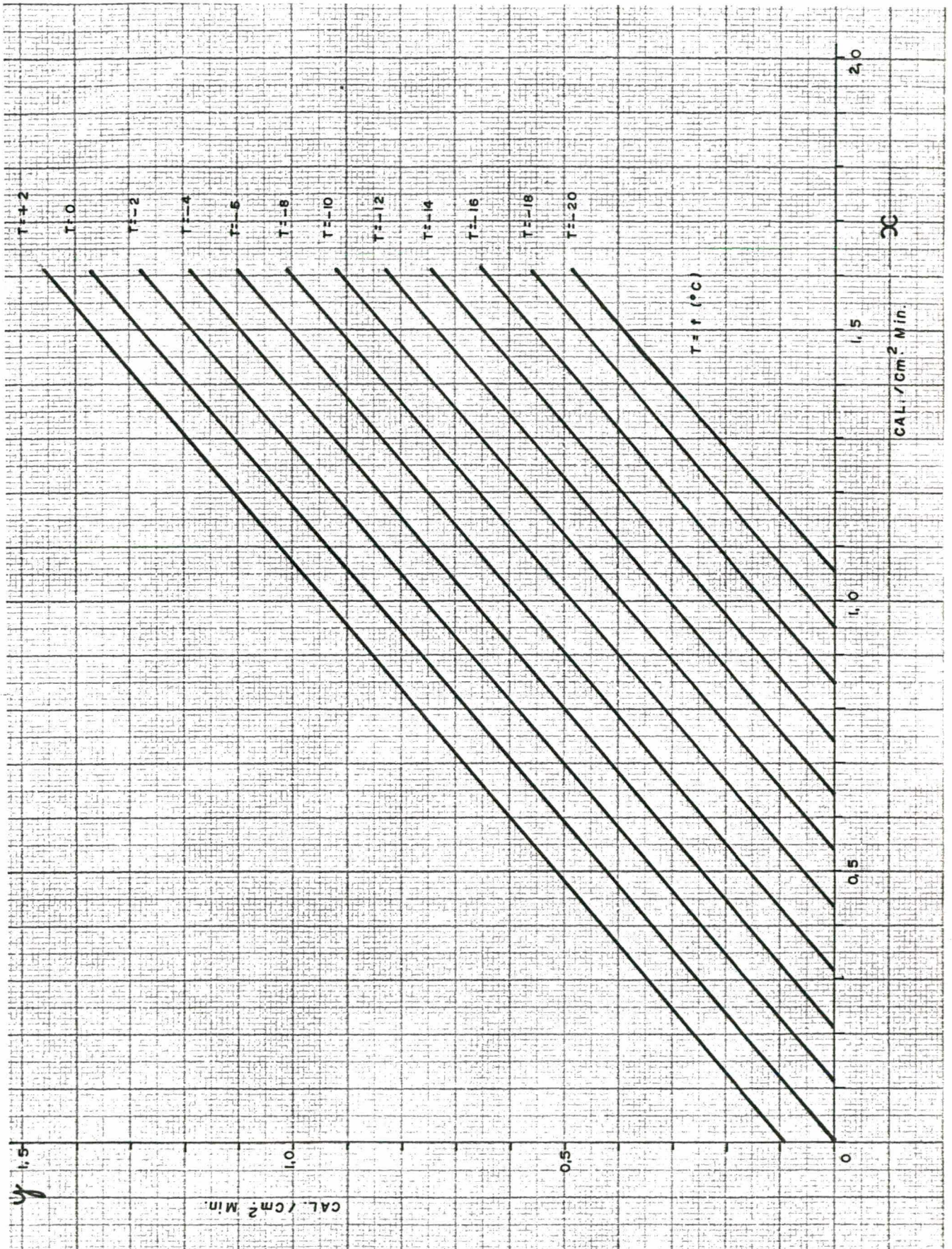


Figura 21. Calor aproveitado em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro (coletor nu).

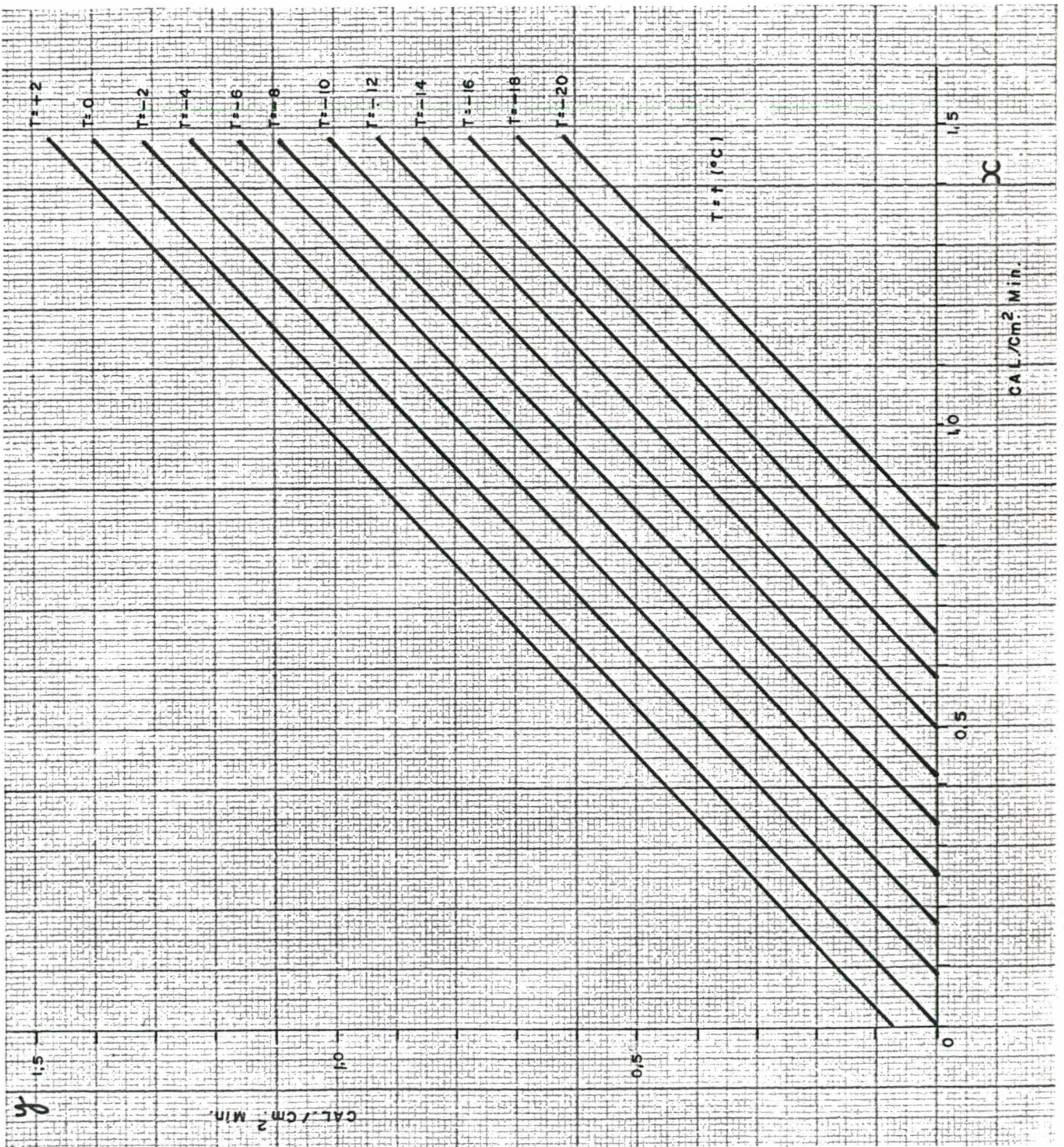


Figura 22. Calor aproveitado em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro (coletor com isopor).

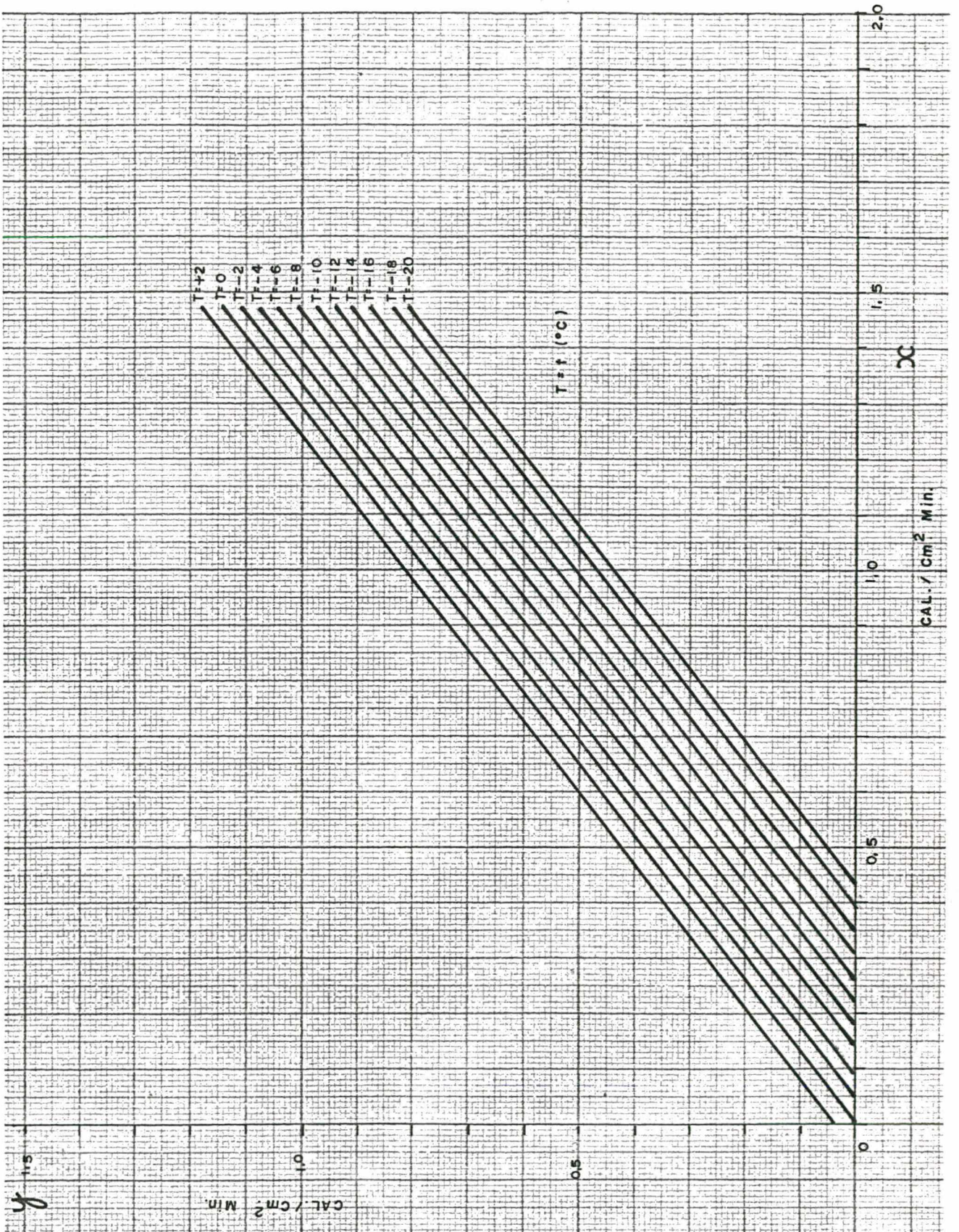


Figura 23. Calor aproveitado em função da radiação, tendo a diferença de temperatura como parâmetro (coletor com plástico e isopor).

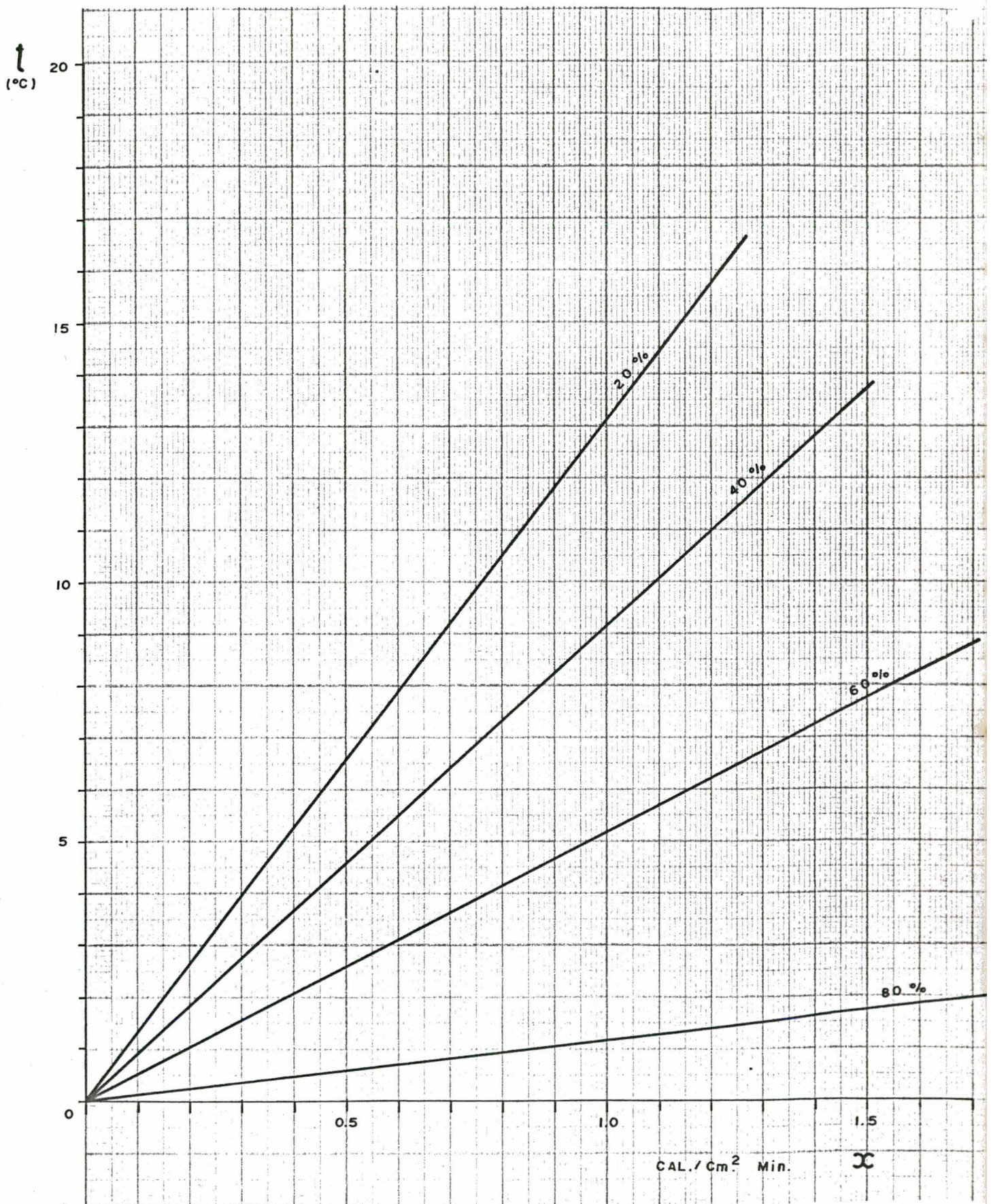


Figura 24. Diferença de temperatura em função da radiação, tendo o rendimento como parâmetro (coletor nu).

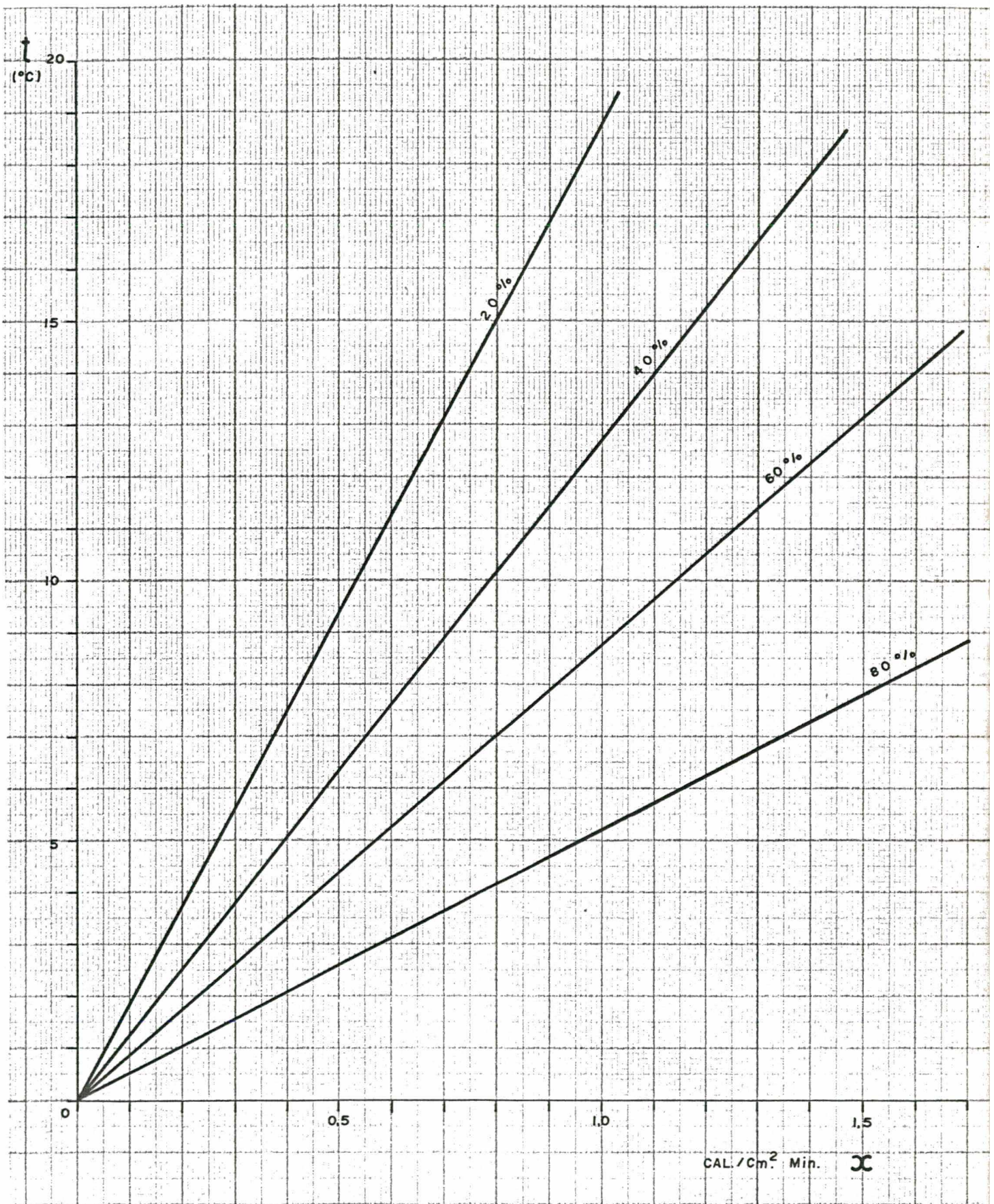


Figura 25. Diferença de temperatura em função da radiação, tendo o rendimento como parâmetro (coletor com isopor).

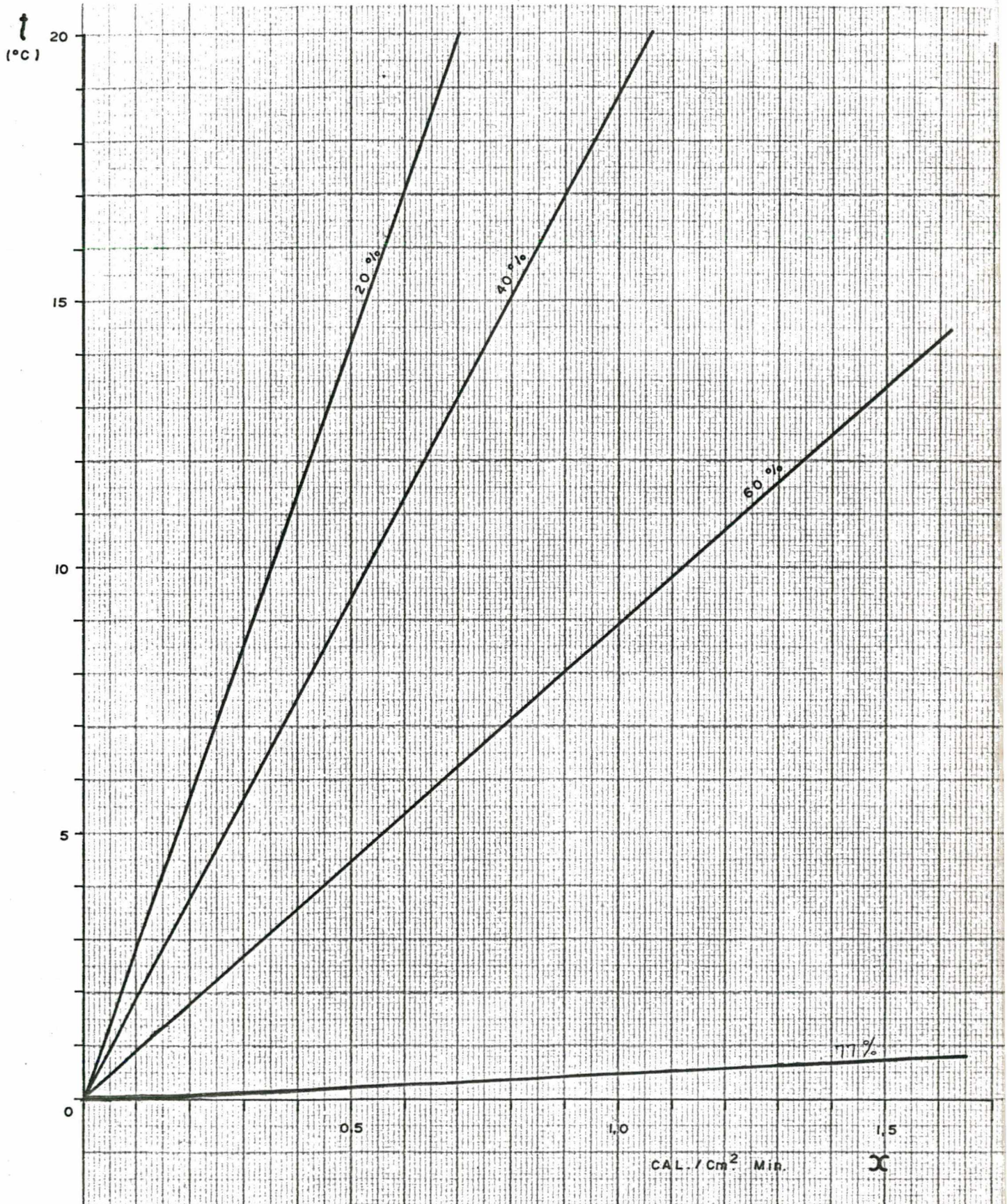


Figura 26. Diferença de temperatura em função da radiação, tendo o rendimento como parâmetro (coletor com plástico e isopor).

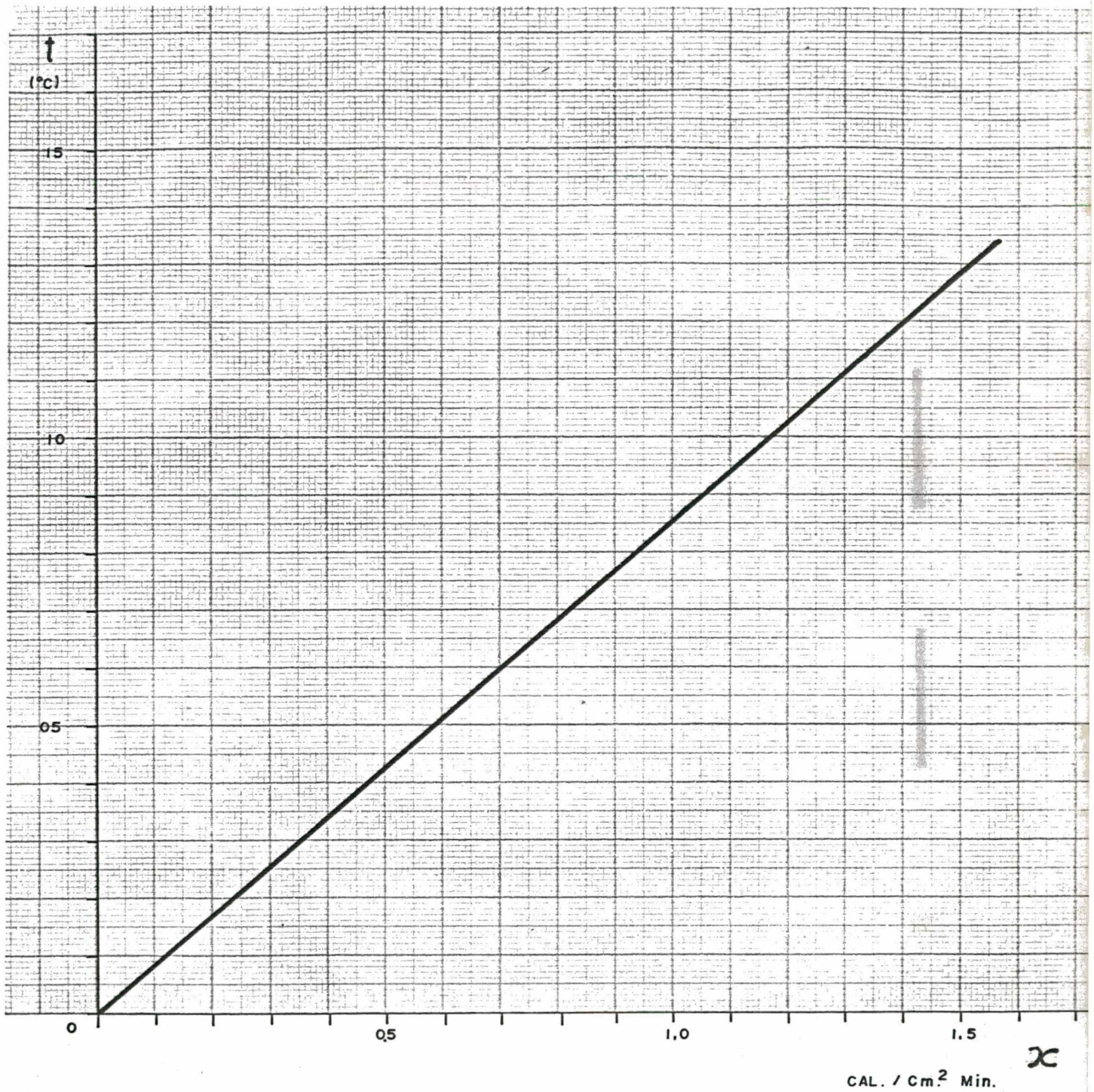


Figura 27. Diferença de temperatura em função da radiação, para efeitos de comparação entre as variantes 2 e 3 (coletor com isopor e coletor com plástico e isopor).

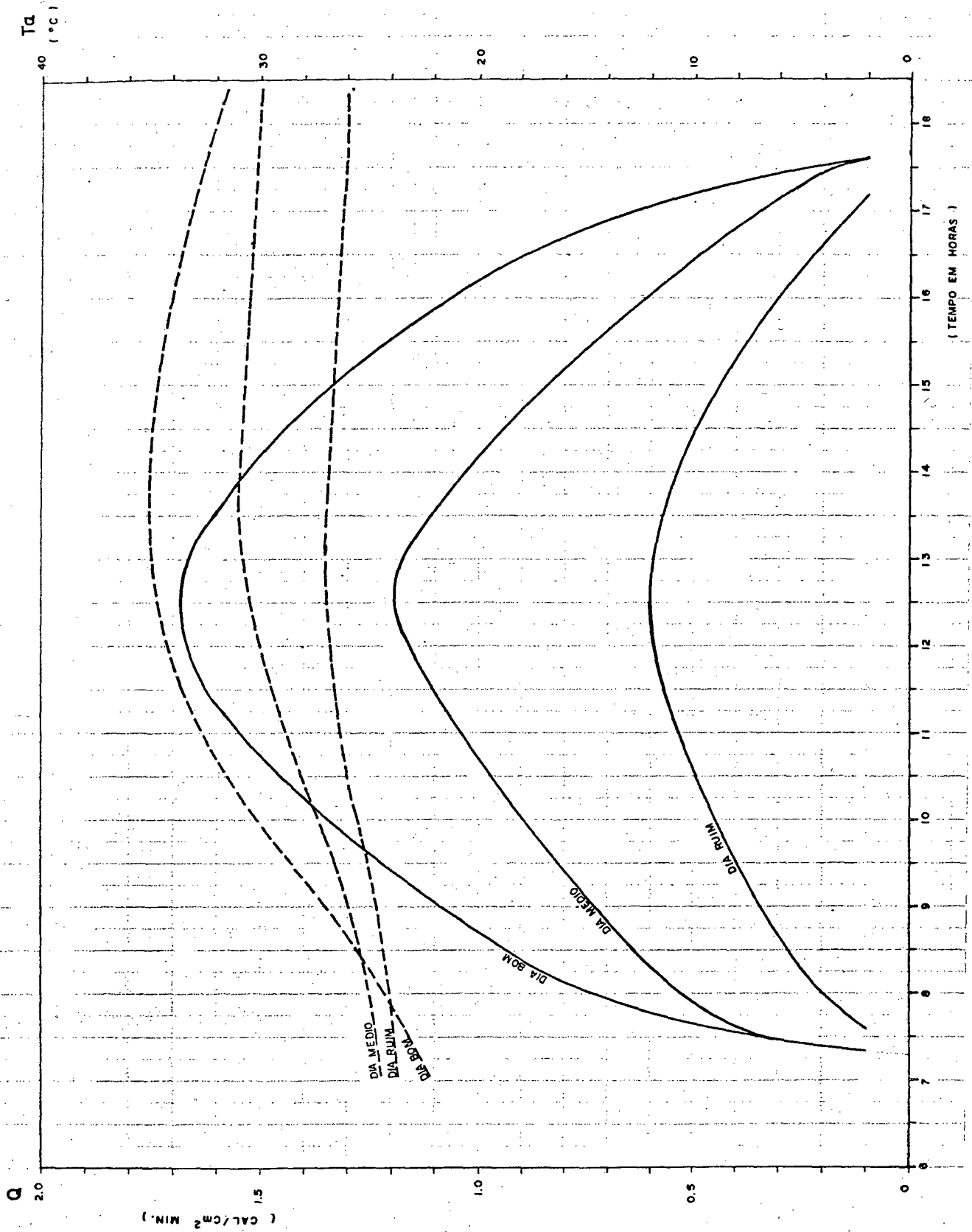


Figura 28. Resultados observados durante o verão com condições de radiação solar e temperatura ambiente para três tipos de dia: bom, médio e ruim (céu aberto, parcialmente coberto e totalmente coberto).

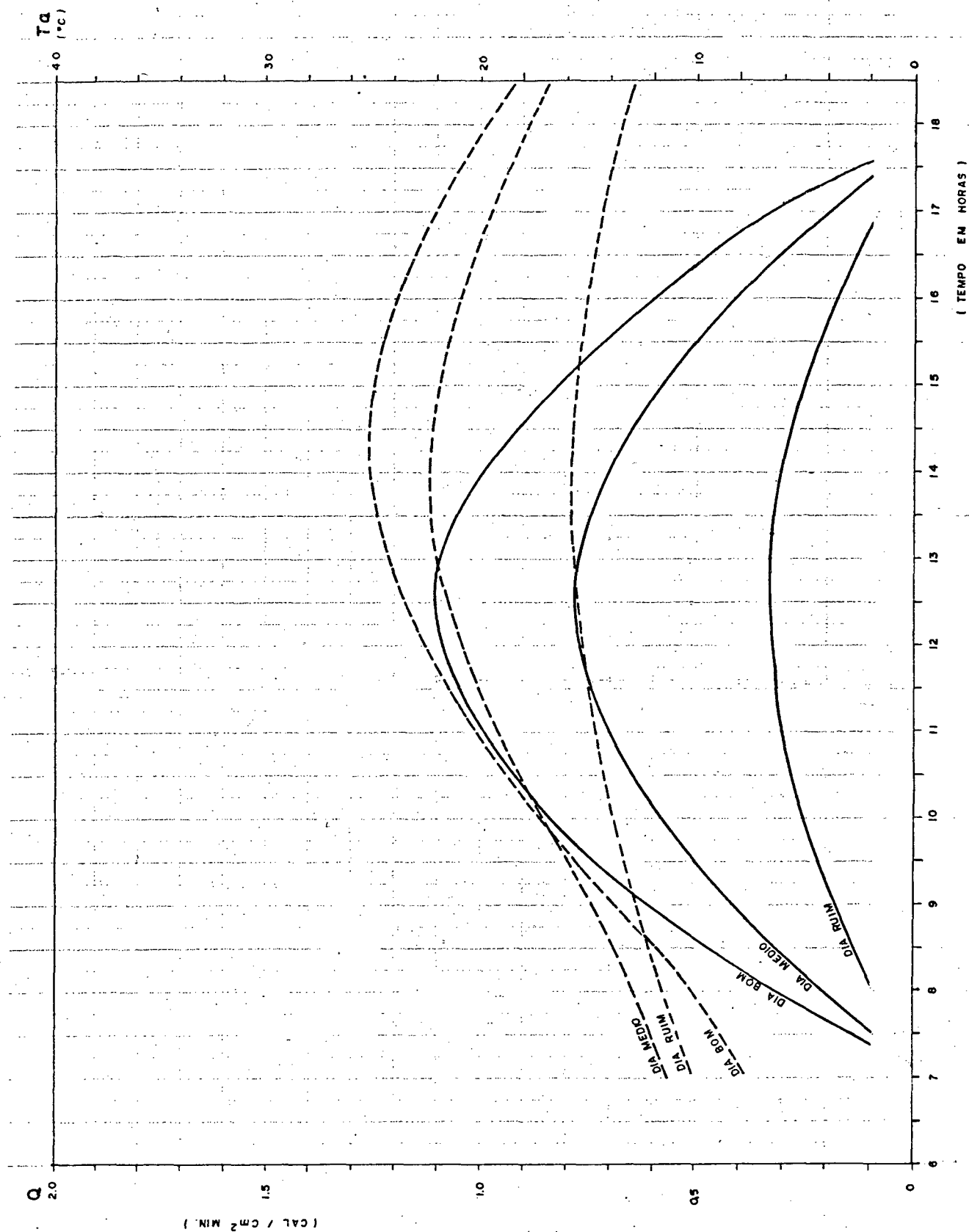


Figura 29. Resultados observados durante o inverno com condições de radiação solar e temperatura ambiente para três tipos de dia: bom, médio e ruim (céu aberto, parcialmente coberto e totalmente coberto).

TABELA 9

Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - dia bom de verão com $T_e = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$

τ_{cc} (min.)	m_{ca} (g/cm ²)														
	5		10		20		50		100		500		1000		
coletor*	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	
20	1	46,3	16,2	48,2	35,1	45,0	60,9	36,6	91,1	31,3	106	25,7	119	24,8	122
	2	52,7	20,8	53,6	42,9	48,0	69,5	37,5	97,5	31,6	110	25,7	122	24,9	123
	3	67,2	31,3	59,3	51,2	47,5	68,1	35,3	81,8	30,0	87,2	25,3	91,8	24,6	92,4
60	1	47,2	16,8	48,1	34,9	44,6	59,7	36,4	89,9	31,2	105	25,7	119	24,8	122
	2	53,4	21,3	53,3	42,4	47,5	68,2	37,3	96,3	31,6	109	25,7	122	24,9	123
	3	66,0	30,4	57,8	48,9	46,7	65,7	35,1	80,4	30,0	86,4	25,3	91,6	24,6	92,3
120	1	47,9	17,3	47,7	34,4	44,0	58,1	36,2	88,0	31,1	104	25,6	119	24,8	121
	2	54,0	21,7	52,7	41,5	46,9	66,3	37,1	94,6	32,5	108	25,7	121	24,9	123
	3	66,0	30,4	57,8	48,9	46,7	65,7	35,1	80,4	30,0	86,4	25,3	91,6	24,6	92,3
240	1	48,2	17,5	46,8	33,0	42,9	54,8	35,7	84,5	31,0	101	25,6	118	24,8	121
	2	53,8	30,6	51,3	39,5	45,7	62,8	36,6	91,4	31,3	106	25,7	121	24,9	123
	3	64,1	29,0	56,0	46,4	45,8	63,1	34,9	78,8	29,9	85,4	25,3	91,4	24,6	92,2
480	1	46,4	16,2	44,4	29,6	40,9	49,1	34,8	78,3	30,7	96,3	25,6	117	24,8	120
	2	51,4	19,9	48,4	35,4	43,5	56,6	35,8	85,5	31,0	102	25,7	120	24,8	122
	3	60,0	26,1	52,9	41,8	44,2	58,5	34,5	75,7	29,8	83,6	25,3	91,0	24,6	92,0
1140	1	38,5	10,5	37,4	19,5	35,7	33,8	32,3	60,3	29,6	81,2	25,6	112	24,8	118
	2	41,9	13,0	40,3	23,6	37,8	40,0	33,4	67,9	30,1	88,2	25,6	115	24,8	120
	3	48,2	17,5	44,4	29,6	39,6	45,2	33,0	65,5	29,3	77,0	25,2	89,3	24,6	91,1
2280	1	33,1	7,6	32,7	12,5	31,9	22,8	30,2	44,7	28,5	65,7	25,5	105	24,8	114
	2	35,3	8,6	34,7	15,4	33,5	27,5	31,1	51,8	29,1	73,3	25,5	110	24,8	117
	3	39,8	11,5	38,1	20,4	35,6	33,5	31,5	54,5	28,8	68,8	25,2	86,9	24,6	89,9

*1 - coletor nu, 2 coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 10

Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - dia médio de verão com $T_e = 24 \text{ }^\circ\text{C}$

τ_{cc} (min.)	m_{ca} (g/cm ²)															
	coletor*		5		10		20		50		100		500		1000	
	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n
20	1	39,4	15,9	40,5	34,1	38,3	59,0	32,5	88,0	28,9	102	25,1	115	24,6	117	
	2	43,8	20,4	44,3	41,9	40,4	67,7	33,2	94,8	29,2	107	25,1	118	24,6	119	
	3	53,8	30,8	48,4	50,3	40,2	66,8	31,8	80,3	28,1	85,5	24,9	90,1	24,4	90,6	
60	1	39,9	16,4	40,4	33,9	38,0	57,8	32,4	86,8	28,9	101	25,1	115	24,6	117	
	2	44,2	20,9	44,0	41,4	40,1	66,4	33,1	93,7	29,1	106	25,1	118	24,6	120	
	3	53,5	30,5	47,9	49,4	39,9	65,9	31,7	79,7	28,1	85,2	24,9	90,0	24,4	90,6	
120	1	40,4	16,9	40,2	33,4	37,6	56,2	32,2	85,0	28,8	100	25,1	114	24,6	117	
	2	44,6	21,3	43,6	40,5	39,6	64,6	32,9	92,0	29,1	105	25,1	118	24,6	120	
	3	53,0	29,9	47,3	48,1	39,6	64,5	31,6	78,9	28,1	84,7	24,9	89,9	24,4	90,6	
240	1	40,5	17,0	39,5	32,0	36,8	53,0	31,9	81,6	28,7	97,5	25,1	114	24,6	117	
	2	44,4	21,1	42,7	38,6	38,8	61,2	32,6	88,9	29,0	103	25,1	117	24,6	119	
	3	51,6	28,5	46,0	45,5	39,0	62,0	31,5	77,5	28,1	83,8	24,9	90,0	24,4	90,4	
480	1	39,2	15,7	37,9	28,6	35,5	42,4	31,3	75,6	28,5	92,9	25,1	112	24,6	116	
	2	42,8	19,4	40,7	34,5	37,3	55,1	32,1	83,1	28,8	99,1	25,1	116	24,6	119	
	3	48,8	25,6	43,9	41,1	37,9	57,5	31,2	74,3	28,0	82,0	24,9	89,3	24,4	90,2	
1440	1	33,8	10,2	33,1	18,8	31,9	32,7	29,6	58,2	27,8	78,4	25,1	107	24,6	113	
	2	36,2	12,6	35,1	23,0	33,4	38,9	30,4	66,0	28,2	85,7	25,1	112	24,6	117	
	3	40,6	17,2	38,1	29,1	34,7	44,3	30,2	64,3	27,7	75,5	24,9	87,6	24,4	89,4	
2880	1	30,2	6,4	29,8	12,1	29,3	22,0	28,2	43,1	27,1	63,4	25,0	101	24,5	110	
	2	31,7	8,0	31,3	15,0	30,5	26,8	28,9	50,4	27,5	71,3	25,0	107	24,6	114	
	3	34,9	11,2	33,7	20,0	32,0	32,9	29,2	53,5	27,3	67,5	24,8	85,3	24,4	88,2	

* 1 coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 11
 Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - Dia ruim de verão $T_e = 24,9C$

τ_{ce} (min.)	$m_{ca} (g/cm^2)$													
	5		10		20		50		100		500		1000	
coletor*	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η
20	1	41,7	42,5	39,5	74,6	34,7	102	29,2	125	26,8	134	142	24,3	143
	2	34,0	24,1	36,5	60,1	35,2	108	30,6	159	27,8	183	205	24,4	208
	3	40,6	39,9	38,6	70,3	34,1	96,6	28,9	118	26,6	127	134	24,3	135
60	1	41,7	42,5	39,3	73,4	34,5	101	29,2	124	26,8	134	142	24,3	143
	2	34,8	25,9	36,6	60,3	35,0	106	30,6	158	27,8	182	204	24,4	208
	3	40,6	39,9	38,4	69,2	33,9	95,3	28,9	117	26,6	126	134	24,3	135
120	1	41,6	42,3	38,9	71,7	34,3	99,0	29,1	123	26,8	133	142	24,3	143
	2	35,6	27,9	36,5	60,2	34,8	104	30,5	155	27,7	180	204	24,4	207
	3	40,6	39,7	38,1	67,6	33,7	93,4	28,8	116	26,6	126	134	24,3	135
240	1	41,1	42,2	38,2	68,4	33,9	95,3	29,0	121	26,7	131	141	24,3	143
	2	36,4	29,8	36,3	59,0	34,3	98,9	30,2	150	27,7	176	203	24,4	207
	3	40,1	38,7	37,4	64,4	33,4	89,9	28,7	114	26,6	124	133	24,3	135
480	1	39,8	37,9	37,0	62,2	33,2	88,5	28,8	116	26,7	129	141	24,3	142
	2	36,3	29,6	35,4	54,6	33,4	90,2	29,9	140	27,5	170	201	24,4	206
	3	38,9	35,7	36,2	58,7	32,7	83,5	28,6	110	26,5	121	133	24,3	134
1440	1	35,0	26,3	33,3	44,8	31,2	68,8	28,2	101	26,5	119	138	24,3	141
	2	32,7	20,9	32,0	38,3	30,8	65,3	28,7	112	27,1	147	194	24,4	202
	3	34,3	24,8	32,8	42,3	30,8	69,9	28,0	94,9	26,3	112	130	24,3	133
2880	1	31,3	17,4	30,5	31,2	29,3	51,3	27,5	83,7	26,2	106	134	24,3	139
	2	29,6	13,5	29,3	25,4	28,7	45,5	27,6	86,1	26,6	122	184	24,4	197
	3	30,9	16,5	30,1	29,4	29,0	48,4	27,3	79,1	26,1	100	127	24,3	131

* 1 - coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 12
 Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - Dia bom de verão - $T_e = 32,7 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $m_{ca} \text{ (g/cm}^2\text{)}$

τ_{cc} (min.)	coletor*		5		10		20		50		100		500		1000	
	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η
20	1	46,35	9,9	48,65	23,1	46,9	41,3	41,3	62,2	37,7	72,3	33,9	81,8	33,3	83,1	
	2	52,8	14,6	54,4	31,4	50,6	51,8	42,8	75,0	38,4	83,6	34,0	91,4	31,3	92,5	
	3	68,0	25,6	61,9	42,3	52,2	56,5	42,1	68,0	37,7	72,5	33,8	76,4	33,2	76,9	
60	1	47,3	10,5	48,7	23,1	46,7	40,5	41,2	61,4	37,6	71,6	33,8	81,6	33,3	83,0	
	2	53,6	15,1	54,2	31,2	50,2	50,8	42,7	72,1	38,4	82,0	34,0	91,2	33,3	92,5	
	3	67,7	25,4	62,4	41,6	51,9	55,7	42,0	67,5	37,7	72,2	33,8	76,3	33,2	76,8	
120	1	48,1	11,2	48,5	23,0	46,3	39,4	41,0	60,1	37,6	70,8	33,8	81,4	33,3	82,9	
	2	54,3	15,6	53,8	30,6	49,8	49,5	42,5	70,9	38,3	81,1	34,0	91,0	33,3	92,4	
	3	67,2	25,0	60,6	40,5	51,5	54,6	41,9	66,8	37,7	71,8	33,8	76,2	33,2	76,8	
240	1	48,7	11,6	48,0	22,2	45,6	37,3	40,7	57,7	37,5	69,0	33,8	80,9	33,3	82,7	
	2	54,5	15,8	52,9	29,3	48,9	46,9	42,1	68,4	38,2	79,5	34,0	90,6	33,3	92,1	
	3	65,7	23,9	59,2	38,4	50,8	52,4	41,7	65,5	37,6	71,0	33,8	76,0	33,2	76,7	
480	1	47,8	10,9	46,6	20,1	44,2	33,4	40,1	53,5	37,2	65,8	33,8	80,0	33,3	82,2	
	2	53,0	14,7	50,9	26,4	47,3	42,3	41,5	64,0	38,0	76,4	33,9	89,8	33,3	91,7	
	3	62,5	21,6	56,6	34,7	49,5	48,6	41,4	62,9	37,5	69,5	33,7	75,7	33,2	76,5	
1440	1	42,6	7,2	41,9	13,3	40,7	23,1	38,4	41,2	36,5	55,5	33,8	76,5	33,3	80,3	
	2	46,1	9,7	44,9	17,7	43,0	29,9	39,7	50,9	37,3	66,1	33,9	86,6	33,3	90,0	
	3	52,8	14,5	50,0	24,6	45,6	37,5	40,2	54,5	37,1	64,0	33,7	74,3	33,2	75,8	
2880	1	38,9	4,5	38,6	8,6	38,1	15,6	36,9	30,6	35,8	44,9	33,7	71,9	33,2	77,6	
	2	41,2	6,2	40,7	11,6	39,8	20,6	38,1	38,8	36,5	55,0	33,8	82,2	33,3	87,6	
	3	45,8	9,5	44,4	17,0	42,3	27,9	39,0	45,3	36,7	57,2	33,7	72,3	33,2	74,8	

* 1 - coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 13
 Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - Dia médio- verão com $T_e=29,2$ °C

τ_{ce} (min.)		m_{ea} (g/cm ²)													
coletor*		5		10		20		50		100		500		1000	
		T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η
20	1	39,4	10,5	40,8	23,9	29,4	42,1	35,3	63,2	32,8	73,3	30,0	82,9	29,6	84,2
	2	43,8	15,1	44,7	32,1	41,9	52,5	36,3	73,8	11,2	83,4	30,1	92,2	29,7	93,4
	3	54,3	25,9	49,9	42,7	43,0	56,9	35,8	68,4	32,7	72,9	29,9	76,8	29,6	77,3
60	1	39,9	11,1	40,7	23,9	39,2	41,3	35,2	62,3	32,7	72,7	30,0	82,7	29,6	84,1
	2	44,3	15,6	44,6	31,8	41,7	51,5	36,3	72,9	33,2	82,8	30,1	92,1	29,7	93,4
	3	54,1	25,7	49,5	42,0	42,8	56,1	35,8	68,0	32,7	72,7	29,9	76,8	29,6	77,3
120	1	40,5	11,6	40,6	23,6	38,9	40,2	35,1	61,2	32,7	71,8	30,0	82,5	29,6	84,0
	2	44,7	16,0	44,3	31,2	41,3	50,1	36,1	71,6	33,2	82,0	30,1	91,9	29,7	93,2
	3	53,6	25,2	49,0	40,8	42,5	55,0	35,7	67,2	32,7	72,3	29,9	76,7	29,6	77,2
240	1	40,8	11,9	40,2	22,7	38,4	38,0	34,9	58,6	32,6	70,0	30,0	82,0	29,6	83,8
	2	44,8	16,1	43,6	29,8	40,7	47,5	35,9	69,2	33,1	80,3	30,1	91,5	29,7	93,0
	3	52,6	24,2	47,9	38,7	42,0	52,8	35,6	65,9	32,7	71,5	29,9	76,5	29,6	77,1
480	1	40,0	11,2	39,1	20,5	37,4	34,0	34,5	54,3	32,4	66,8	30,0	81,2	29,6	83,3
	2	43,7	15,0	42,1	26,7	39,6	42,8	35,5	64,7	32,9	77,2	30,1	90,6	29,7	92,6
	3	50,3	21,8	46,1	34,9	41,0	48,9	35,3	63,3	32,6	69,9	29,9	76,1	29,6	77,0
1440	1	36,3	7,3	35,7	13,5	34,9	23,5	33,3	41,8	31,9	56,3	30,0	77,6	29,6	81,4
	2	38,7	9,8	37,9	17,9	36,5	30,3	34,3	51,4	32,4	66,8	30,0	87,4	29,6	90,9
	3	43,4	14,6	41,2	24,8	38,3	37,8	34,5	54,8	32,3	64,4	29,9	74,7	29,6	76,2
2880	1	33,6	4,6	33,4	8,7	33,0	15,8	32,2	31,0	31,4	45,6	29,9	72,8	29,6	78,7
	2	35,2	6,2	34,9	11,7	34,2	20,8	33,0	39,2	31,9	55,5	30,0	83,0	29,6	88,4
	3	38,5	9,6	37,5	17,1	36,0	28,1	33,6	45,6	32,0	57,5	29,9	72,7	29,6	75,2

* 1 - coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 14.

Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - dia ruim de verão com $T_e=26,0$ °C

τ_{cc} (min.)	m_{ca} (g. cm ²)														
	coletor*		5	10	20	50	100	500	1000						
	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n	T_{mf}	n			
20	1	30,1	9,9	30,8	23,3	30,4	42,0	28,7	64,1	27,6	74,8	26,4	85,0	26,2	86,4
	2	32,1	14,6	32,6	31,7	31,5	52,6	29,1	74,7	27,8	84,7	26,4	94,0	26,2	95,2
	3	36,7	25,7	34,9	42,8	32,0	57,3	28,9	69,1	27,5	73,7	26,3	77,7	26,2	78,2
60	1	30,4	10,6	30,9	23,4	30,3	41,3	28,6	63,3	27,5	74,2	26,4	84,8	26,2	86,3
	2	32,3	15,2	32,5	31,5	31,4	51,7	29,1	73,8	27,8	84,1	26,4	93,8	26,2	95,1
	3	36,6	25,5	34,7	42,0	31,9	56,5	28,9	68,6	27,5	73,4	26,3	77,6	26,2	78,2
120	1	30,7	11,2	30,8	23,2	30,2	40,2	28,6	62,0	27,5	73,3	26,4	84,6	26,2	86,2
	2	32,5	15,7	32,4	31,0	31,2	50,3	29,0	72,5	27,5	83,3	26,4	93,6	26,2	95,0
	3	36,5	25,1	34,5	40,9	31,8	55,3	28,8	67,9	27,5	73,0	26,3	77,5	26,2	78,1
240	1	30,9	11,7	30,7	22,5	30,0	38,2	28,5	59,5	27,5	71,5	26,4	84,1	26,2	85,9
	2	32,6	15,9	32,2	29,7	31,0	47,7	28,9	70,1	27,7	81,6	26,4	93,2	26,2	94,8
	3	36,0	24,1	34,1	38,8	31,5	53,2	28,8	66,5	27,5	72,2	26,3	77,4	26,2	78,0
480	1	30,6	11,1	30,3	20,5	29,6	34,3	28,3	55,2	27,4	68,2	26,4	83,2	26,2	85,4
	2	32,2	14,9	31,6	26,8	30,5	43,1	28,7	65,6	27,6	78,4	26,4	92,3	26,2	94,3
	3	35,1	21,8	33,3	35,1	31,1	49,3	28,7	64,0	27,5	70,7	26,3	72,0	26,2	77,9
1440	1	29,1	7,4	28,9	13,7	28,5	23,8	27,8	42,6	27,2	57,5	26,3	79,5	26,2	83,5
	2	30,1	9,9	29,8	18,1	29,2	30,6	28,2	52,2	27,4	67,9	26,4	89,0	26,2	92,6
	3	32,1	14,7	31,2	25,0	30,0	38,1	28,3	55,4	27,4	65,1	26,3	75,6	26,2	77,1
2880	1	27,9	4,7	27,8	8,9	27,7	16,1	27,3	31,7	27,0	46,6	26,3	74,7	26,2	80,7
	2	28,6	6,3	28,5	11,9	28,2	21,1	27,7	39,9	27,2	56,4	26,4	84,5	26,2	91,1
	3	30,0	9,7	29,6	17,2	29,0	28,3	27,9	46,1	27,2	58,2	26,3	73,5	26,2	76,1

* 1 - coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 15

Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - dia bom de inverno com $T_e = 19 \text{ }^\circ\text{C}$

τ_{cc} (min.)	m_{ea} (g/cm ²)		5		10		20		50		100		500		1000	
	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η
20	1	30,4	12,3	32,3	28,5	30,5	49,6	25,8	72,8	22,9	83,6	19,9	93,7	19,4	95,0	
	2	35,0	17,2	36,1	36,7	32,7	59,2	26,6	81,8	23,3	91,8	19,9	101	19,5	102	
	3	45,3	28,4	40,5	46,2	33,1	60,9	25,8	72,7	22,6	77,2	19,8	81,1	19,4	81,7	
60	1	31,2	13,1	32,2	28,5	30,3	48,6	25,7	71,8	22,9	82,9	19,9	93,5	19,4	94,9	
	2	35,6	17,9	35,9	36,3	32,5	58,0	26,5	80,0	23,2	91,1	19,9	101	19,5	102	
	3	45,1	28,1	40,1	45,4	33,0	60,1	25,7	72,2	22,6	77,0	19,8	81,2	19,4	81,6	
120	1	31,9	13,9	32,1	28,1	30,0	47,2	25,5	70,2	22,8	81,8	19,9	93,2	19,4	94,8	
	2	36,1	18,4	35,5	35,6	32,1	56,4	26,4	79,4	23,2	90,2	19,9	101	19,5	102	
	3	44,6	27,6	39,5	44,1	32,7	58,8	25,6	71,4	22,6	76,5	19,8	81,0	19,4	81,6	
240	1	32,2	14,3	31,5	27,0	29,3	44,4	25,3	67,4	22,7	79,8	19,9	92,7	19,4	94,8	
	2	36,2	18,5	34,7	33,8	31,4	53,3	26,1	76,6	23,1	88,3	19,9	100	19,5	102	
	3	43,4	26,3	38,4	41,7	32,1	56,5	25,5	70,0	22,5	75,7	19,8	80,8	19,4	81,5	
480	1	31,3	13,2	30,2	24,1	28,2	39,6	24,8	62,3	22,5	76,0	19,9	92,7	19,4	94,5	
	2	34,8	17,0	33,0	30,2	30,1	47,9	25,7	71,6	22,9	84,9	19,9	91,6	19,5	101	
	3	40,9	23,6	36,5	37,6	31,1	52,3	25,3	67,2	22,4	74,0	19,8	80,4	19,4	81,3	
1440	1	26,8	8,4	26,2	15,6	25,3	27,0	23,4	47,7	22,0	64,0	19,8	87,6	19,4	91,8	
	2	29,2	11,0	28,3	19,9	26,8	33,6	24,3	56,7	22,4	73,4	29,9	95,6	19,5	99,3	
	3	33,6	15,7	31,3	26,5	28,3	40,2	24,4	58,1	33,3	68,2	19,7	78,9	19,4	80,5	
2880	1	23,9	5,2	23,6	9,9	23,2	18,0	22,3	35,3	21,4	51,7	19,8	82,2	19,4	88,8	
	2	25,4	6,9	25,0	12,9	24,3	23,0	23,0	43,1	21,8	60,9	19,8	90,7	19,5	96,6	
	3	28,5	10,2	27,4	18,2	25,9	29,8	23,5	48,3	21,8	60,9	19,7	76,8	19,4	79,4	

* 1 - coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 16
 Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - dia médio de inverno $T_e = 19 \text{ }^\circ\text{C}$

τ_{cc} (min.)	m (g/cm ²)															
	coletor *		5		10		20		50		100		500		1000	
	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η
20	1	25,8	10,4	27,2	25,2	26,3	44,4	23,3	65,7	21,5	75,6	19,6	84,8	19,3	86,1	
	2	29,0	15,4	30,0	33,6	27,9	54,6	24,0	75,9	21,8	85,2	19,6	93,8	19,3	94,9	
	3	36,5	33,3	33,3	44,0	28,5	58,1	23,5	69,4	21,4	73,8	19,5	77,6	19,3	78,1	
60	1	26,4	11,3	27,2	25,2	26,1	43,6	23,2	64,8	21,5	74,9	19,6	84,7	19,3	86,0	
	2	29,5	16,1	29,9	33,3	27,7	53,6	23,9	75,0	21,8	84,6	19,6	93,6	19,3	94,8	
	3	36,3	26,6	33,1	43,1	28,3	57,3	23,5	68,9	21,4	73,5	19,5	77,5	19,3	78,0	
120	1	26,9	12,1	27,2	25,0	25,9	42,3	23,1	63,4	21,4	74,0	19,6	84,4	19,3	85,9	
	2	29,9	16,7	29,7	32,6	27,5	52,1	23,8	73,6	21,7	83,8	19,6	93,4	19,3	94,7	
	3	36,0	26,1	32,7	42,0	28,2	56,1	23,5	68,2	21,4	73,2	19,5	77,4	19,3	78,0	
240	1	27,2	12,6	26,9	24,1	25,5	39,9	23,0	60,9	21,4	72,2	19,6	83,9	19,3	85,9	
	2	30,0	16,9	29,2	31,1	27,0	49,3	23,6	71,1	21,7	82,1	19,6	93,0	19,3	94,5	
	3	35,3	24,9	32,0	39,7	27,8	53,9	23,4	66,8	21,4	72,3	19,5	77,2	19,3	77,9	
480	1	26,7	11,8	26,0	21,6	24,8	35,6	22,7	56,3	21,2	68,8	19,5	83,0	19,3	85,6	
	2	29,2	15,6	28,1	27,8	26,2	44,3	23,3	66,4	21,6	78,8	19,6	92,1	19,3	94,1	
	3	33,6	22,4	30,7	35,8	27,1	49,9	23,2	64,2	21,3	70,8	19,5	79,4	19,3	77,7	
1440	1	24,0	7,6	23,6	14,1	23,0	24,3	21,8	43,2	20,9	57,9	19,5	79,4	19,3	83,2	
	2	25,6	10,2	25,0	18,5	24,1	31,1	22,4	52,6	21,2	68,1	19,6	88,9	19,3	92,3	
	3	28,8	14,9	27,2	25,3	25,3	38,4	22,6	55,5	21,1	65,1	19,5	75,5	19,3	77,0	
2880	1	22,1	4,7	21,9	9,0	21,7	16,3	21,1	31,9	20,5	46,8	19,5	74,5	19,3	80,4	
	2	23,2	6,4	22,9	12,0	22,5	21,3	21,6	40,1	20,9	56,6	19,6	84,4	19,3	89,8	
	3	25,4	9,7	24,7	17,4	23,6	28,5	22,0	46,2	20,9	58,2	19,5	73,4	19,3	76,0	

* 1 - coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

TABELA 17
 Resultados obtidos a partir dos dados climáticos simulados - dia ruim de inverno com $T_e = 19,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

τ_{cc} (min.)	m (g/cm ²)													
	5		10		20		50		100		500		1000	
Coletor *	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η	T_{mf}	η
1	17,0	-7,3	17,8	-8,7	18,2	-11,3	18,6	-16,2	18,7	-19,2	18,9	-22,4	19,0	-22,8
20	18,4	-2,2	19,2	1,2	19,3	4,4	19,2	6,5	19,1	7,1	19,0	7,5	19,0	7,5
3	21,9	10,6	21,6	18,8	20,8	25,3	19,8	30,4	19,5	32,3	19,1	33,9	19,1	34,1
1	17,2	-6,4	17,9	-8,1	18,2	-11,0	18,6	-16,0	18,7	-19,1	18,9	-22,3	19,0	-22,8
60	18,6	-1,4	19,2	1,5	19,3	4,3	19,2	6,4	19,1	7,1	19,0	7,5	19,0	7,5
3	22,0	10,7	21,6	18,5	20,5	25,0	19,8	31,1	19,5	32,1	19,1	33,8	19,1	34,1
1	17,5	-5,4	18,0	-7,4	18,3	-10,6	18,6	-15,7	18,7	-18,8	18,9	-22,2	19,0	-22,8
120	18,9	-0,5	19,2	1,8	19,3	4,3	19,3	4,3	19,2	6,3	19,1	7,0	19,0	7,5
3	22,0	10,7	21,5	18,1	20,7	24,5	19,8	29,8	19,4	32,0	19,1	33,8	19,1	34,0
1	17,8	-4,2	18,1	-6,5	18,3	-9,8	18,6	-15,1	18,8	-18,4	18,9	-22,1	19,0	-22,7
240	19,1	-0,4	19,3	2,1	19,3	4,1	19,2	6,1	19,1	6,8	19,0	7,4	19,0	7,5
3	21,9	10,4	21,4	17,2	20,6	23,5	19,8	29,2	19,4	31,6	19,1	33,7	19,1	34,0
1	18,1	-3,1	18,3	-5,4	18,4	-8,7	18,6	-14,0	18,8	-17,5	18,9	-21,9	19,0	-22,6
480	19,3	1,0	19,3	2,2	19,3	3,8	19,2	5,7	19,1	6,6	19,0	7,4	19,0	7,5
3	21,7	9,6	21,2	15,5	20,5	21,8	19,8	28,1	19,4	30,9	19,1	33,6	19,1	33,9
1	18,5	-1,9	18,5	-3,5	18,6	-6,0	18,7	-10,9	18,8	-14,9	18,9	-20,9	19,0	-22,0
1440	19,2	-0,9	19,2	1,6	19,2	2,7	19,1	4,4	19,1	5,6	19,0	7,1	19,0	7,3
3	20,8	6,5	20,5	11,0	20,2	16,8	19,7	24,3	19,4	28,5	19,1	33,0	19,1	33,6
1	18,7	-1,2	18,7	-2,3	18,7	-4,1	18,8	-8,2	18,8	-12,1	19,0	-19,7	19,0	-21,3
2880	19,2	-0,5	19,1	1,0	19,1	1,8	19,1	3,3	19,1	4,6	19,0	6,7	19,0	7,1
3	20,2	4,3	20,1	7,6	19,9	12,4	19,6	20,2	19,4	25,4	19,1	32,1	19,1	33,1

* 1 - coletor nu, 2 - coletor com isopor e 3 - coletor com plástico e isopor.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÃO

6.1. Quanto a Área de Aplicação do Sistema Proposto

Os sistemas estudados mostraram um excelente desempenho termodinâmico quando se trata de obter incrementos de temperatura de até 10 °C acima da temperatura ambiente. Os rendimentos caem violentamente quando se pretende obter incrementos superiores a 30 °C. Portanto, a priori, se trata de um preaquecedor.

Uma escolha correta dos parâmetros do sistema (tempo de ciclagem completo do sistema bomba-acumulador, $\tau_{cc} = M/F$ e a massa específica do sistema coletor-acumulador, $m_{ca} = M/A$) permitirá sua aplicação a um grande número de situações específicas entre as quais podem ser mencionadas as seguintes:

- Aquecimento de água para uso doméstico;
- Aquecimento de água para uso sanitário em hotéis, hospitais, fábricas, etc.;
- Aquecimento de piscinas;
- Aquecimento e/ou preaquecimento em processos industriais que requerem temperatura em alguns graus Celsius acima da temperatura ambiente.

No ANEXO 4 aparecem alguns exemplos de dimensionamento de sistemas para diferentes usos específicos.

6.2 Quanto aos Materiais, Equipamentos e Acessórios

Os materiais e acessórios testados mostraram um comportamento adequado, porém, não esgotam as possibilidades de escolha e seria interessante uma análise mais exaustiva de outros materiais como mangueiras de borracha, tubos de PVC negro rígido, tubos metálicos, etc..

Um dos pontos críticos, é o sistema de bombeamento de água, que não apresenta problemas para instalações de médio e de grande porte, porém, de pequeno porte como é o caso de aquecedores domésticos, seria interessante encontrar bombas pequenas e de baixo custo mas com um melhor rendimento que a testada no presente trabalho.

6.3. Algumas Sugestões para a Continuidade das Pesquisas Referente ao Trabalho

Consideremos que os pontos mais importantes a serem desenvolvidos no futuro como continuidade dos já estudados, são os seguintes:

- Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico simples de comando automático da bomba em função da temperatura de entrada/saída do coletor a fim de melhorar o aproveitamento energético;
- Uso de diferentes sistemas anti-convectivos (honeycombs, cobertura transparente de vidro, etc.);
- Uso de sistemas passivos que aumentem a área de captação (espelhos, refletores metálicos, etc.);
- Sistemas de acumulação de calor a temperatura constante.

BIBLIOGRAFIA

- (1). PERRIER, J.L. "*Energia Solar e Hidrogênio*". Lisboa: Editorial Presença Ltda, 1982.
- (2). KONDRATYEV, K.Ya. "*Radiation in the Atmosphere*". New York: Academic Press, 1969.
- (3). THEKAEKARA, M. P. "*Solar Energy Outside the Earth's Atmosphere*". *Solar Energy*, Vol. 14, pp.109-107, 1973.
- (4). KREITH, F. "*Transmisión del Calor por Radiación*". México: Compañía Editorial Continental, S/A., 1965.
- (5). NEIBURGER, M; EDINGER, J. G. e BONNER, W. D. "*Understanding our Atmospheric Environment*". W. H. Freeman Company, San Francisco, 1973.
- (6). DUFFIE, J. A. e BECKMAN, W.A. "*Solar Engineering of Thermal Processes*". New York: John Wiley & Sons, 1980.
- (7). ROBINSON, N. "*Solar Radiation*". Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1966.
- (8). KREITH, F; KREIDER, J.F. "*Principles of Solar Engineering*". Washington: McGraw-Hill, 1978.
- (9). BRINKWIRTH, B.J. "*Energia Solar para el hombre*". Madrid: H. Blume Ediciones, 1981.
- (10) MEINEL, A.B. e MEINEL, M.P. "*Aplicações de la Energia Solar*". Barcelona: Editorial Reverté, S/A., 1982.
- (11) DANIELS, F. "*Uso directo de la Energia Solar*". Madrid : H. Blume Ediciones, 1982.

- (12) SOLAR *Concentrating Collectors*. Proceedings of the ERDA Conference on concentrating Solar Collectors, Georgia, September, 1977.
- (13) FISK, M.J. e ANDERSON, H.C.W. "Introduction to Solar Technology". USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1982.
- (14) PEREIRA FILHO, H.V. "A Energia Solar e suas Aplicações". Apostila, UFSC., Florianópolis, 1982.
- (15) TORREIRA, R.P. "Isolamento Térmico". São Paulo: Fulton Editora Técnica Ltda., 1980.
- (16) LÜNDE, P.J. "Solar Thermal Engineering - Space Heating and Hot Water Systems". New York: John Wiley & Sons, 1980.
- (17) COMETTA, E. "Energia Solar - utilização e empregos práticos". São Paulo: Hemus Livraria e Editora Ltda., 1978.
- (18) KREIDER, J.F. and KHEITH, F. "Solar Energy Handbook". U.S.A.: McGraw-Hill, 1981.
- (19) SABADY, P.R. *Practica de la Energia Solar*. Barcelona: Ediciones Ceac, S.A., 1983.
- (20) BALCOMB, J.D. and PARRY, J.E. "Assessment of Solar Heating and Cooling Technology", Los Alamos Scientific Laboratory Report Mo. La-6379-MS.
- (21) HOLLANDS, K.G.T. "Solar Collectors". Vol. 2 Joint Conference, 1976, of the American Section of the international Solar Energy Society and the Solar Energy Society of Canada
- (22) FARBER, E.A. "Selective Surfaces And Solar Absorbers". Solar Energy, Vol. III, nº 2, pp. 9-13, 1959.
- (23) KEPPELLER, R.O. "Caracterização de Materiais para Cobertura em Coletores Solares". Tese de Mestrado, UFRGS., 1978.
- (24) HARRELL Jr., J.J. "Solar Heating and Cooling of Buildings". New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982.
- (25) DIXON, A.E. and LESLIE, J.D. "Solar Energy Conversion". Oxford: Pergamon Press Inc., 1979.
- (26) PALZ, W. "Energia Solar e Fontes Alternativas". São Paulo: Hemus Livraria Editora Ltda. 1981.

- (27) HOLLANDS, K.G.T. *Honeycombs Devices in Flate-Plate Solar Collectors*". Solar Energy, Vol. 9, nº 3, pp.159-164, 1965.
- (28) SAN MARTIN, R.L. e FJELD. G.J. *"Experimental Performance of Three Solar Collectors"*. Solar Energy, Vol. 17, nº 6, pp. 345-349, 1975.
- (29) KUSUDA, T. *"Solar Water Heating in Japan. Proc. Solar Heating and Cooling for Buildings Workshop. Washington, DC, 1973.*
- (30) MINARDI, J.E. and CHUANG, H.N. *"Performance of a "Black" Liquid flate-plate solar collector."*.Solar Energy, Vol. 17, pp. 179-183, 1975.
- (31) GUPTA, C. L. e GARG, H.P. *"Performance Studies on Solar air heaters"*, Solar Energy 11, 1967.
- (32) SIMON, F.F. e HARLAMERT, P. *" Flate-Plate collector performance evaluation - the case for a solar simulation approach"*. International Solar Energy Society U,S, Section Annual Meeting, NASA - Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, oct. 1973.
- (33) BUCHBERG, H.; LALUDE, O.A. e EDWARDS, D.D.K. *" Performance characteristics of rectangular honeycomb solar - thermal Converters, Solar Energy, 11, 1971.*
- (34) GARG, H.P. *"Design and Performance of a Large - Size Solar Water Heater"*.Solar Energy, Vol 14, Nº 3, pp 303-312, 1973.
- (35) SOUKA, A,F, *"Double Exposure Flate-Plate Collector."* Solar Energy, Vol. 9, Nº 3, pp 117-118, 1965.
- (36) CHINNPPA, J.C.V. e GNANALINGAM, K. *"Performance At Colombo, Ceylon, of a Pressurised Solar Water Heater of Combined Collector and Storage Type"*. Solar Energy, Vol. 15, Nº 3, pp. 195-204, 1973.
- (37) CHAUHAN, R,S. e KADAMBI, V. *" Performance of a Collector-cum - Storage Type of Solar Water Heater"*. Solar Energy, Vol. 18, Nº 4, pp. 327-335, 1976.
- (38) BAR-COHEN, A. *" Thermal Optimization of Compact Solar Water Heaters"*.Solar Energy, Vol. 20, Nº 2, pp. 193-196, 1978.
- (39) GOPFFARTH, W.H. e al. *"Performance correlation of Horizontal plastic solar water heaters"*. Solar Energy, Vol. 12, pp. 183-196, 1968.

- (40) SWARTMAN, R.K. e OGUNLADE, O. " *An Investigation on Packed-Bed Collectors.*". Solar Energy, Vol. 10, nº 3, pp. 106-110, 1966.
- (41) PILLAI, P.K.C. and AGARWAL, R.C. " *Tubular Solar Collector* ". Applied Energy, Vol. 6, pp. 125-132, 1980.
- (42) CIPLA - Cia Industrial de Plásticos - Grupo Hansen, " *Comunicação pessoal*". Joinville, 28 de outubro, 1983.
- (43) BECKAMAN, W.A. et al. " *Units and symbols in solar energy* ". Technical Note., Solar Energy, Vol. 21, Nº1, pp. 65-68, 1978.

ANEXOS

ANEXO 1

PROGRAMAS DE CÁLCULO

Programa de calculo para análise das equações de 13 a 17 - resultados nas tabelas 4, 5 e 6.:

```

10 DEFDBL A-Z
20 DEFSNG I
30 DEFSNG N
40 CLS
50 W=0:YY=0:YX=0:YZ=0:YT=0:YV=0:XX=0:XZ=0:XT=0:XV=0:ZZ=0:ZT=0:ZV=
  0:TT=0:TV=0:VV=0
60 INPUT "INTRODUZA O NUMERO DE DADOS";N
70 FOR I=1 TO N
80 PRINT "Y";I;:INPUTY:PRINT "X";I;:INPUTX:PRINT"Z";I;:INPUTZ:PRI
  NT"T";I;:INPUTT:PRINT"V";I;:INPUTV
90 YY=YY+Y*Y
100 YX=YX+Y*X:XY=YX
110 YZ=YZ+Y*Z:ZY=YZ
120 YT=YT+Y*T:TY=YT
130 YV=YV+Y*V:VY=YV
140 XX=XX+X*X
150 XZ=XZ+X*Z:ZX=XZ
160 XT=XT+X*T:TX=XT
170 XV=XV+X*T:VX=XV
180 ZZ=ZZ+Z*Z
190 ZT=ZT+Z*T:TZ=ZT
200 ZV=ZV+Z*V:VZ=ZV
210 TT=TT+T*T
220 TV=TV+T*V:VT=TV
230 VV=VV+V*V
240 W=W+Y
250 NEXT I
260 MEDIA=W/N
270 DE(1)=(XX*ZZ)-(XZ*XZ)
280 DA(1)=(YX*ZZ)-(XZ*YZ)
290 DB(1)=(XX*YZ)-(YX*XZ)
300 A(1)=DA(1)/DE(1)
310 MM(1)=(YY+A(1)*A(1)*XX+B(1)*B(1)*ZZ-2*(A(1)*YX+B(1)*YZ-Z(1)*B
  (1)*XZ))

```

```

320 S(1)=SQR(MM(1)/N)
330 LPRINTTAB(1)"A(1)";TAB(27)"B(1)";TAB(53)"C(1)";TAB(79)"D(1)";
    TAB(105)"S(1)"
340 GOSUB 1000
350 LPRINTTAB(1)A(1);TAB(27)B(1);TAB(105)S(1):LPRINT
360 DE(2)=(XX*TT)-(XT*XT)
370 DA(2)=(YX*TT)-(XT*YT)
380 DC(2)=(XX*YT)-(YX*XT)
390 A(2)=DA(2)/DE(2)
400 C(2)=DC(2)/DE(2)
410 MM(2)=(YY+A(2)*A(2)*XX+C(2)*C(2)*TT-2*(A(2)*YX+C(2)*YT-A(2)*C
    (2)*XT)
420 S(2)=SQR(MM(2)/N)
430 LPRINTTAB(1)"A(2)";TAB(27)"B(2)";TAB(53)"C(2)";TAB(79)"D(2)";
    TAB(105)"S(2)"
440 GOSUB 1000
450 LPRINTTAB(1)A(2);TAB(53)C(2);TAB(105)S(2):LPRINT
460 DE(3)=(XX*ZZ*TT+XZ*ZT*XT+XT*XZ*ZT)-(XT*XT*ZZ+XZ*XZ*TT+XX*ZT*Z
    T)
470 DA(3)=(YX*ZZ*TT+XZ*ZT*YT+XT*YZ*ZT)-(YT*ZZ*XT+YZ*XZ*TT+YX*ZT*Z
    T)
480 DB(3)=(XX*YZ*TT+YX*ZT*XT+XT*XZ*YT)-(XT*YZ*XT+XZ*YX*TT+XX*YT*
    ZT)
490 DC(3)=(XX*ZZ*YT+XZ*YZ*XT+YX*XZ*ZT)-(XT*ZZ*YX+XZ*XZ*YT+XX*ZT*Y
    Z)
500 A(3)=DA(3)/DE(3):B(3)=DB(3)/DE(3):C(3)=DC(3)/DE(3)
510 MM(3)=(YY+A(3)*A(3)*XX+B(3)*B(3)*ZZ+C(3)*C(3)*TT+2*(A(3)*B(3)
    *XZ+A(3)*C(3)*XT+B(3)*C(3)*ZT-A(3)*YX-B(3)*YZ-C(3)*YT):S(3)=
    SQR(MM(3)/N)
520 LPRINTTAB(1)"A(3)";TAB(27)"B(3)";TAB(53)"C(3)";TAB(79)"D(3)";T
    AB(105)"S(3)"
530 GOSUB 1000
540 LPRINTTAB(1)A(3);TAB(27)B(3);TAB(53)C(3);TAB(105)S(3):LPRINT
550 DE(4)=(XX*TT*VV+XT*TV*XV+XV*XT*TV)-(XV*TT*XV+XT*XT*VV+XX*TV*T
    V)
560 DA(4)=(YX*TT*VV+XT*TV*YV+XV*YT*TV)-(XV*TT*YV+XT*YT*VV+YX*TV*T
    V)
570 DC(4)=(XX*YT*VV+YX*TV*XV+XV*XT*YV)-(XV*YT*XV+YX*XT*VV+XX*TV*Y
    V)
580 DD(4)=(XX*TT*YV+XT*YT*XV+YX*XT*TV)-(YX*TT*XV+XT*XT*YV+XX*YT*T
    V)
590 A(4)=DA(4)/DE(4):C(4)=DC(4)/DE(4):D(4)=DD(4)/DE(4)
600 MM(4)=(YY+A(4)*A(4)*XX+C(4)*C(4)*TT+D(4)*D(4)*VV-2*(A(4):YX+C
    (4)*YT+D(4)*YV-A(4)*C(4)*XT-A(4)*D(4)*XV-C(4)*D(4)*TV)
610 S(4)=SQR(MM(4)/N)
620 LPRINTTAB(1)"A(4)";TAB(27)"B(4)";TAB(53)"C(4)";TAB(79)"D(4)";
    TAB(105)"S(4)"
630 GOSUB 1000
640 LPRINTTAB(1)A(4);TAB(53)C(4);TAB(79)D(4);TAB(105)S(4):LPRINT
650 DE(6)=XX((ZZ*TT*VV+ZT*TV*ZV+ZV*ZT*TV)-(ZV*TT*ZV+ZT*ZT*VV+ZZ*T
    V*TV))
660 DE(7)=XZ*((XZ*TT*VV+ZV*TV*XV+ZV*XT*TV)-(ZV*TT*XV+ZT*XT*VV+XZ*
    TV*TV))
670 DE(8)=XT*((XZ*XT*VV+ZZ*TV*ZV+ZV*XT*ZV)-(ZV*ZT*XV+ZZ*XT*VV+XZ*
    TV*XV))
680 DE(9)=XV*((XZ*ZT*TV+ZZ*TT*XV+ZT*XT*ZV)-(ZT*ZT*XV+ZZ*ZT*TV+XZ*
    TT*ZV))
690 DE(5)=DE(6)+DE(7)+DE(8)+DE(9)
700 DE(6)=YX*((ZZ*TT*VV+ZT*TV*ZV+ZV*ZT*TV)-(ZV*TT*ZV+ZT*ZT*VV+ZZ*
    TV*TV))

```

```

710 DE(7)=-XZ*((YZ*TT*VV+ZT*TV*YV+ZV*YT*TV)-(ZV*TT*YV+ZT*YT*VV+YZ*
*TV*TV))
720 DE(8)=XT*((YZ*ZT*VV+ZZ*TV*YV+ZV*YT*ZV)-(ZV*ZT*YV+ZZ*YT*VV+YZ*
*TV*ZV))
730 DE(9)=-XV*((YZ*ZT*TV+ZZ*TT*YV+ZT*YT*ZV)-(ZT*ZT*YV+ZZ*YT*TV+YZ*
*TT*ZV))
740 DE(5)=DA(6)+DA(7)+DA(8)+DA(9)
750 DB(6)=XX*((YZ*TT*VV+ZT*TV*YV+ZV*YT*TV)-(ZV*TT*YV+ZT*YT*VV+YZ*
*TV*TV))
760 DB(7)=-YX*((XZ*TT*VV+ZT*TV*XV+ZV*XT*TV)-(ZV*TT*XV+XT*ZT*VV+XZ*
*TV*TV))
770 DB(8)=XT*((XZ*YT*VV+YZ*TV*XV+ZV*XT*YV)-(ZV*YT*XV+XT*YZ*VV+XZ*
*TV*YV))
780 DB(9)=-XV*((XZ*YT*TV+YZ*TT*XV+ZT*XT*YV)-(ZT*YT*XV+XT*YZ*TV+XZ*
*TT*YV))
790 DB(5)=DB(6)+DB(7)+DB(8)+DB(9)
800 DC(6)=XX*((ZZ*YT*VV+YZ*TV*ZV+ZV*ZT*YV)-(ZV*YT*ZV+YZ*ZT*VV+ZZ*
*TV*YV))
810 DC(7)=-XZ*((XZ*YT*VV+YZ*TV*XV+ZV*XT*YV)-(ZV*YT*XV+XT*YZ*VV+XZ*
*TV*YV))
820 DC(8)=YX*((XZ*ZT*VV+ZZ*TV*XV+ZV*XT*ZV)-(ZV*ZT*XV+ZZ*XT*VV+XZ*
*TV*ZV))
830 DC(9)=-XV*((XZ*ZT*YV+ZZ*YT*XV+YZ*XT*XV)-(YZ*ZT*ZV+ZZ*XT*YV+XZ*
*YT*ZV))
840 DC(5)=DC(6)+DC(7)+DC(8)+DC(9)
850 DD(6)=XX*((ZZ*TT*YV+ZT*YT*ZV+YZ*ZT*TV)-(ZV*TT*YZ+ZT*ZT*YV+ZZ*
*YT*TV))
860 DD(7)=-XZ*((XZ*TT*YV+ZT*YT*XV+YZ*XT*TV)-(XV*TT*YZ+XT*ZT*YV+XZ*
*YT*TV))
870 DD(8)=XT*((XZ*ZT*YV+ZZ*YT*XV+YZ*XT*ZV)-(XV*ZT*YZ+XT*ZZ*YV+XZ*
*YT*ZV))
880 DD(9)=-YX*((XZ*ZT*TV+ZZ*TT*XV+ZT*XT*ZV)-(XV*ZT*ZT+XT*ZZ*TV+XZ*
*TT*ZV))
890 DD(5)=DD(6)+DD(7)+DD(8)+DD(9)
900 A(5)=DA(5)/DE(5):B(5)=DB(5)/DE(5):C(5)=DC(5)/DE(5):D(5)=DD(5)
/DE(5)
910 MM(5)=(YY+(A(5)*A(5))*XX+(B(5)*B(5))*ZZ+(C(5)*C(5))*TT+(D(5)*
D(5))*VV-2*(A(5)*YX+B(5)*YZ+C(5)*YT+D(5)*YV-A(5)*B(5)*XZ-A(5)
*C(5)*XT-A(5)*D(5)*ZV-B(5)*C(5)*ZT-B(5)*D(5)*ZV-C(5)*D(5)*TV))
920 S(5)=SQR(MM(5)/N)
930 LPRINTTAB(1)"A(5)";TAB(27)"B(5)";TAB(53)"C(5)";TAB(79)"D(5)";
TAB(105)"S(5)"
940 GOSUB 1000
950 LPRINTTAB(1)A(5);TAB(27)B(5);TAB(53)C(5);TAB(79)D(5);TAB(105)
S(5):LPRINT
960 GOSUB 1000
970 LPRINT"          MEDIA=";MEDIA
980 GOSUB 1000
990 END
1000 LPRINT"-----
-----"

```

Programa de cálculo para a equação escolhida, obtendo os resultados na TABELA 7.:

```

10 DIM X(100),Y(100),T(100)
20 DEFDBL A-H,J-M,O-Q,U,V,Z
30 CLS
40 INPUT "INTRODUZA O NUMERO DE DADOS";N
50 PRINT:PRINT:PRINT"ENTRE COM OS DADOS"
60 W=0:YY=0:YX=0:YT=0:XX=0:XT=0:TT=0:P=0:Q=0:ERO(0)=0:ERO(1)=0:U=
  0:V=0:Z=0
70 FOR I=1 TO N
80 PRINT"Y(";I;")="::INPUT Y(I):PRINT"X(";I;")="::INPUT X(I):PRIN
  T"T(";I;")="::INPUT T(I)
90 YX=YX+Y(I)*X(I)
100 YT=YT+Y(I)*T(I)
110 XX=XX+X(I)*X(I)
120 XT=XT+X(I)*T(I)
130 TT=TT+T(I)*T(I)
140 YY=YY+Y(I)*Y(I)
150 W = W+Y(I)
160 P=P+X(I)/Y(I):Q=Q+T(I)/Y(I)
170 V=V+((X(I)/Y(I))*(X(I)/Y(I)))
180 Z=Z+((T(I)/Y(I))*(T(I)/Y(I)))
190 U=U+((X(I)/Y(I))*(T(I)/Y(I)))
200 NEXT I
210 DE = (XX*TT)-(XT*XT)
220 DA = (YX*TT)-(XT*YT)
230 DC = (XX*YT)-(YX*XT)
240 A=DA/DE:C=DC/DE:MEDIA=W/N
250 FOR I=1 TO N
260 ERO(0)=ERO(0)+(1-(A*(X(I)/Y(I))+C*(T(I)/Y(I))))/N
270 ERO(1)=ERO(1)+((ABS(Y(I)-A*(X(I))-C*(T(I))))/Y(I))/N
280 NEXT I
290 MA=YY+A*A*XX+C*C*TT
300 MB=2*(A*YX+C*YT-A*C*XT)
310 MM=MA+MB
320 SIGMA = SQR (MM/N)
330 RR(2)=(N-2*(A*P+C*Q)+A*A*V+C*C*Z+2*A*C*U)/N
340 ERO(2)=SQR(RR(2))
350 LPRINT "A= ";A:LPRINT "C= ";C
360 LPRINT "SIGMA = ";SIGMA
370 LPRINT "MEDIA = ";MEDIA
380 LPRINT
390 LPRINT "ERRO(0)=";ERO(0)
400 LPRINT "ERRO(1)=";ERO(1)
410 LPRINT "ERRO(2)=";ERO(2)
420 END

```

Programa de cálculo para os dados climáticos simulados tendo os resultados nas TABELAS 9 a 17.:

```

10 CLS
20 CLEAR1000
30 DIM Q(100),TA(100),F(100)
40 CC=1
50 INPUT "Introduza o numero de dados ";N
60 FOR I=1 TO N
70 PRINT"Q("I")= ";:INPUTQ(I):PRINT"TA("I")= ";:INPUTTA(I)
80 NEXT
90 INPUT"A = ";A:INPUT"C = ";C
100 LPRINTTAB(20)"A = ";A:LPRINTTAB(40)"C = ";C
110 LPRINTSTRING$(79,"=")
120 IF CC=1 THEN T=20:M=5
130 IF CC=2 THEN T=20:M=10
140 IF CC=3 THEN T=20:M=20
150 IF CC=4 THEN T=20:M=50
160 IF CC=5 THEN T=20:M=100
170 IF CC=6 THEN T=20:M=500
180 IF CC=7 THEN T=20:M=1000
190 IF CC=8 THEN T=60:M=5
200 IF CC=9 THEN T=60:M=10
210 IF CC=10 THEN T=60:M=20
220 IF CC=11 THEN T=60:M=50
230 IF CC=12 THEN T=60:M=100
240 IF CC=13 THEN T=60:M=500
250 IF CC=14 THEN T=60:M=1000
260 IF CC=15 THEN T=120:M=5
270 IF CC=16 THEN T=120:M=10
280 IF CC=17 THEN T=120:M=20
290 IF CC=18 THEN T=120:M=50
300 IF CC=19 THEN T=120:M=100
310 IF CC=20 THEN T=120:M=500
320 IF CC=21 THEN T=120:M=1000
330 IF CC=22 THEN T=240:M=5
340 IF CC=23 THEN T=240:M=10
350 IF CC=24 THEN T=240:M=20
360 IF CC=25 THEN T=240:M=50
370 IF CC=26 THEN T=240:M=100
380 IF CC=27 THEN T=240:M=500
390 IF CC=28 THEN T=240:M=1000
400 IF CC=29 THEN T=480:M=5
410 IF CC=30 THEN T=480:M=10
420 IF CC=31 THEN T=480:M=20
430 IF CC=32 THEN T=480:M=50
440 IF CC=33 THEN T=480:M=100
450 IF CC=34 THEN T=480:M=500
460 IF CC=35 THEN T=480:M=1000
470 IF CC=36 THEN T=1440:M=5
480 IF CC=37 THEN T=1440:M=10
490 IF CC=38 THEN T=1440:M=20
500 IF CC=39 THEN T=1440:M=50
510 IF CC=40 THEN T=1440:M=100
520 IF CC=41 THEN T=1440:M=500

```



```
530 IF CC=42 THEN T=1440:M=1000
540 IF CC=43 THEN T=2880:M=5
550 IF CC=44 THEN T=2880:M=10
560 IF CC=45 THEN T=2880:M=20
570 IF CC=46 THEN T=2880:M=50
580 IF CC=47 THEN T=2880:M=100
590 IF CC=48 THEN T=2880:M=500
600 IF CC=49 THEN T=2880:M=1000
610 D=20:O=24
620 E=0
630 R=0
640 FOR I=1 TO N
650 R=R+Q(I)*D
660 K=(2*A)/(2*M+C*T)
670 H=(2*C)/(2*M+C*T)
680 F(I)=(K/H)*Q(I)+TA(I)
690 F(I)=(F(I))*(1-EXP(-H*D))
700 F(I)=(F(I))+E*EXP(-H*D)
710 PRINT "F("I") = "F(I)
720 E=F(I)
730 S=M*(F(I)-O)
740 NEXT I
750 LPRINT TAB(30)"Tfinal = ";F(N):LPRINT
760 E=S/R
770 LPRINT "R = ";R:LPRINT "S = ";S:LPRINT TAB(30)"E = ";E
780 LPRINT
790 LPRINT "T = ";T:LPRINT "M = "M
800 FOR W=1 TO 3:LPRINT:NEXT W
810 PRINT:PRINT
820 LPRINT STRING$(79,"-"):LPRINT
830 CC=CC+1:IF CC=50 THEN B40 ELSE GOTO 120
840 CC=1:GOTO 90
850 END
```

ANEXO 2

TABELAS DOS DADOS DE CAMPO
(Dados Observados Experimentalmente)

Dados de Campo - Coletor NU e Resultados das Variáveis

Dia/Mês	Tempo em Horas*				Temp. Água (°C)	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	Variáveis					
	(1)	(2)	(3)	(4)				y	x	z	t	v	
29/12	08:01	08:08	08:20	08:27	24,12	26,03	24,73	4400	0,44	0,62	0,65	-0,35	0,64
	08:21	08:28	08:40	08:47	24,63	27,08	25,43	4400	0,57	0,76	0,65	-0,43	0,65
	08:41	08:48	09:00	09:07	24,86	26,40	25,31	4400	0,36	0,58	0,65	-0,32	0,65
	09:01	09:08	09:20	09:27	25,17	27,35	25,75	4400	0,51	0,60	0,66	-0,51	0,65
	13:11	13:18	13:30	13:37	31,28	35,01	29,95	4400	0,87	1,25	0,72	-3,20	0,69
	15:51	15:55	16:10	16:14	29,45	31,55	31,29	8575	0,95	1,21	0,70	0,79	0,70
	16:11	16:15	16:30	16:34	30,39	32,25	30,20	8575	0,84	1,09	0,70	-1,12	0,69
	16:31	16:35	16:50	16:54	31,22	32,76	29,82	8575	0,70	0,92	0,71	-2,17	0,69
	16:51	16:55	17:10	17:14	31,85	32,87	29,71	8575	0,46	0,67	0,71	-2,65	0,69
	17:11	17:15	17:30	17:34	32,13	32,94	29,57	8575	0,37	0,47	0,71	-2,97	0,69
	17:31	17:35	17:50	17:54	32,27	32,72	29,12	8575	0,20	0,33	0,72	-3,38	0,68
	30/12	07:51	07:57	08:10	08:16	26,12	27,86	24,86	4940	0,45	0,70	0,67	-2,13
08:11		08:17	08:30	08:36	26,61	28,46	25,16	4940	0,48	0,80	0,67	-2,38	0,65
08:31		08:37	08:50	08:56	26,89	27,69	25,06	4940	0,21	0,43	0,67	-2,23	0,65
08:51		08:57	09:10	09:16	27,00	27,68	24,93	4940	0,18	0,30	0,67	-2,41	0,65
09:11		09:17	09:30	09:36	27,04	27,49	24,98	4940	0,20	0,36	0,67	-2,44	0,65
09:31		09:37	09:50	09:56	27,21	28,16	25,10	4750	0,24	0,42	0,67	-2,59	0,65
11:51		11:57	12:10	12:16	31,50	35,11	29,81	4940	0,94	1,32	0,72	-3,50	0,69
12:11		12:17	12:30	12:36	32,00	35,59	30,55	4940	0,93	1,14	0,73	-3,25	0,70

Dados de Campo - Coletor NU e Resultados das Variáveis

Dia/mês	Tempo em Horas*				Temp. Água (°C) entrada saída	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	Variáveis					
	(1)	(2)	(3)	(4)				x	y	z	t	v	
30/12	13:11	13:17	13:30	13:36	33,61	37,39	31,10	4670	0,93	1,38	0,74	-4,40	0,70
	13:31	13:37	13:50	13:56	34,21	39,09	31,89	4670	1,20	1,61	0,75	-4,76	0,71
31/12	09:20	09:29	09:39	09:48	26,58	29,29	26,02	3400	0,48	0,63	0,67	-1,91	0,66
	09:40	09:49	09:59	10:08	27,02	30,31	26,95	3400	0,59	0,88	0,68	-1,72	0,66
	10:00	10:09	10:19	10:28	27,41	31,50	27,58	3400	0,73	0,84	0,69	-1,88	0,67
	10:20	10:29	10:39	10:48	28,09	32,61	28,09	3400	0,81	1,10	0,69	-2,26	0,67
02/01	10:40	10:49	10:59	11:08	28,88	34,83	28,99	3400	1,08	1,33	0,71	-2,87	0,68
	11:54	12:03	12:13	12:12	30,50	31,98	28,70	3320	0,26	0,33	0,70	-2,54	0,68
03/01	08:20	08:29	08:39	08:48	24,78	28,31	25,31	3380	0,63	0,83	0,66	-1,24	0,65
	09:20	09:29	09:39	09:48	27,74	32,49	27,46	3420	0,86	1,21	0,69	-2,66	0,67
	09:40	09:51	09:59	10:10	29,10	34,59	27,80	2860	0,83	1,20	0,71	-4,05	0,67
	12:23	12:33	12:42	12:52	32,81	39,03	30,56	3150	1,03	1,48	0,75	-5,36	0,70
	13:23	13:32	13:42	13:51	34,20	40,05	31,45	3500	1,08	1,47	0,76	-5,68	0,70
	15:20	15:28	15:39	15:47	36,09	39,87	31,70	3780	0,75	1,10	0,77	-6,28	0,71
	16:20	16:30	16:39	16:49	36,61	39,50	31,50	2900	0,44	0,76	0,77	-6,56	0,71
03/01	16:40	16:49	16:59	17:08	36,63	38,68	31,48	3400	0,37	0,64	0,76	-6,18	0,71
	17:00	17:08	17:19	17:27	36,57	38,09	31,15	3600	0,29	0,49	0,76	-6,18	0,70
03/01	09:00	09:09	09:19	09:28	28,64	32,67	27,77	3400	0,72	0,91	0,70	-2,89	0,67

Dados de Campo - Coletor NU e Resultados das Variáveis

Dia/Mês	Tempo em Horas*				Temp. Água (°C)	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	Variáveis					
	(1)	(2)	(3)	(4)				entrada	Saída	y	x	z	t
03/01	09:40	09:49	09:59	10:08	29,52	30,76	27,51	3400	0,22	0,40	0,69	-2,63	0,67
05/01	12:00	12:09	12:19	12:28	26,42	30,31	28,43	3380	0,69	0,69	0,68	0,06	0,68
	13:22	13:31	13:41	13:50	29,70	35,89	31,13	3330	1,09	1,32	0,72	-1,67	0,70
	13:42	13:51	14:01	14:10	30,43	35,47	31,46	3330	0,88	1,23	0,72	-1,49	0,71
11/01	09:31	09:38	09:50	09:57	39,35	41,67	29,85	4200	0,51	1,18	0,79	-11,66	0,69
	09:51	09:58	10:10	10:17	42,44	44,47	30,40	4200	0,45	1,27	0,82	-13,06	0,70
	10:11	10:18	10:30	10:37	44,41	46,11	31,00	4200	0,38	1,20	0,84	-14,26	0,70
	10:31	10:38	10:50	10:57	45,70	47,24	31,25	4200	0,34	1,21	0,85	-15,22	0,70
	10:51	10:58	11:10	11:17	47,66	49,45	31,70	4200	0,40	1,40	0,87	-16,86	0,71
	11:11	11:18	11:30	11:37	49,04	50,94	32,10	4200	0,42	1,46	0,89	-17,89	0,71
	12:31	12:39	12:50	12:58	50,86	53,18	33,50	3660	0,45	1,56	0,91	-18,52	0,72
	12:51	12:59	13:10	13:18	52,10	54,17	33,90	3660	0,40	1,59	0,93	-19,24	0,73
	13:11	13:19	13:30	13:38	52,66	55,03	33,95	3660	0,46	1,57	0,93	-19,90	0,73
	13:31	13:39	13:50	13:58	53,18	55,25	33,90	3660	0,40	1,55	0,94	-20,32	0,73
	14:11	14:19	14:30	14:38	50,82	52,71	33,75	3660	0,36	1,46	0,91	-18,02	0,73
	14:51	14:55	15:10	15:14	48,70	49,67	33,45	8350	0,43	1,28	0,88	-15,74	0,72
	15:11	15:15	15:30	15:34	49,69	50,11	33,75	8350	0,19	1,20	0,89	-16,15	0,73
11/01	15:31	15:35	15:50	15:54	49,74	50,07	33,90	8350	0,15	1,09	0,89	-16,01	0,73

Dados de Campo - Coletor NU e Resultados das Variáveis

Dia/Mês	Tempo em Horas*				Temp. Água (°C)	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	Variáveis					
	(1)	(2)	(3)	(4)				entrada	saída	y	x	z	t
14/01	10:41	10:57	11:00	11:16	30,10	41,29	31,65	1850	1,09	1,52	0,75	-4,05	0,71
	11:01	11:15	11:20	11:34	28,92	39,82	32,00	2150	1,23	1,55	0,73	-2,37	0,71
	11:21	11:47	11:40	12:06	30,46	46,50	32,50	1170	0,99	1,56	0,77	-5,98	0,72
	11:41	12:07	12:00	12:26	31,00	47,20	32,70	1170	1,00	1,55	0,78	-6,40	0,72
	12:01	12:27	12:20	23:46	31,24	47,97	33,20	1170	1,03	1,53	0,78	-6,41	0,72
	12:21	12:47	12:40	13:06	31,40	48,05	33,35	1170	1,03	1,54	0,78	-6,38	0,72
	12:41	13:07	13:00	13:26	31,53	48,26	33,60	1170	1,03	1,51	0,79	-6,30	0,73
	13:01	13:27	13:20	13:46	31,59	48,65	34,04	1170	1,05	1,50	0,79	-6,08	0,73
	14:26	14:31	14:45	14:50	39,05	42,03	35,40	6000	0,94	1,31	0,79	-5,14	0,74
	14:46	14:51	15:05	15:10	39,55	42,15	35,30	6000	0,82	1,25	0,80	-5,55	0,74
	15:06	15:11	15:25	15:30	39,73	42,01	34,85	6000	0,72	1,68	0,80	-6,02	0,74
	15:26	15:31	15:45	15:50	39,71	41,86	34,80	6000	0,68	1,02	0,80	-5,99	0,74
	15:46	15:51	16:05	16:10	39,58	41,40	34,40	6000	0,58	0,91	0,79	-6,09	0,73
	16:32	16:37	16:51	16:56	39,03	40,49	34,25	6170	0,47	0,73	0,79	-5,51	0,73
15/01	14:07	14:10	14:26	14:29	41,60	43,70	36,00	8580	0,95	1,39	0,81	-6,65	0,75

Dados de Campo - Coletor com Isopor e Resultados das Variáveis

Dia/Mês	Tempo em Horas*				Temp. Água (°C) entrada	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	Variáveis				
	(1)	(2)	(3)	(4)				y	x	z	t	v
16/02	08:30	08:51	08:49	09:10	31,73	26,91	1420	0,30	0,74	0,73	-6,84	0,66
	09:10	09:34	09:29	09:53	35,43	27,82	1220	0,31	0,78	0,77	-10,05	0,67
	09:30	09:50	09:49	10:09	37,47	28,60	1500	0,46	1,00	0,79	-11,75	0,68
	09:50	10:10	10:09	10:29	39,83	29,52	1470	0,49	1,11	0,82	-13,45	0,69
	10:10	10:30	10:29	10:49	41,57	30,20	1500	0,51	1,16	0,84	-14,59	0,69
	10:30	10:49	10:49	11:08	42,57	30,66	1600	0,59	1,27	0,85	-15,41	0,70
	10:50	11:09	11:09	11:28	43,53	31,28	1600	0,65	1,36	0,86	-16,14	0,70
	11:10	11:30	11:29	11:49	44,73	32,14	1520	0,66	1,43	0,88	-16,74	0,71
	11:30	11:50	11:49	12:09	45,63	32,50	1500	0,70	1,44	0,89	-17,58	0,71
	11:50	12:10	12:09	12:29	46,33	32,75	1500	0,75	1,46	0,91	-18,34	0,72
	12:30	12:40	12:49	12:59	39,30	33,40	3170	1,03	1,49	0,81	-8,99	0,72
	12:50	13:00	13:09	13:19	40,13	33,75	3150	0,92	1,40	0,82	-9,15	0,73
	13:30	13:40	13:49	13:59	41,20	34,40	3000	0,90	1,44	0,83	-9,65	0,73
	13:50	14:00	14:09	14:19	40,50	34,50	3000	1,00	1,32	0,82	-9,15	0,73
	14:20	14:27	14:39	14:46	36,60	34,97	4617	1,09	1,31	0,78	-3,88	0,74
	14:40	14:47	14:59	15:06	34,43	34,33	4617	0,76	0,81	0,75	-1,67	0,73
	15:00	15:07	15:19	15:26	36,00	35,00	4617	0,93	1,15	0,77	-2,92	0,74
	16:40	16:47	16:59	17:06	31,75	33,43	4617	0,40	0,54	0,72	0,85	0,72
	17:20	17:27	17:39	17:46	30,97	32,07	4617	0,14	0,21	0,70	0,81	0,71

Dados de Campo - Coletor com Isopor e Resultados das Variáveis

Dia/Mês	Tempo em Horas*				Temp. Água (°C)	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	Variáveis					
	(1)	(2)	(3)	(4)				entrada	saída	y	x	z	t
17/02	10:00	10:12	10:19	10:31	38,30	40,77	2400	28,60	0,31	0,93	0,78	-10,94	0,68
	10:20	10:33	10:39	10:52	34,33	38,03	2300	28,45	0,45	0,73	0,75	-7,73	0,68
	10:40	10:55	10:59	11:14	35,20	38,57	2000	28,58	0,36	0,85	0,76	-8,31	0,68
	11:00	11:15	11:19	11:34	34,93	38,40	2000	28,70	0,37	0,70	0,75	-7,97	0,68
	11:20	11:35	11:39	11:54	35,40	40,77	2000	30,00	0,57	0,96	0,77	-8,09	0,69
	12:50	13:00	13:09	13:19	36,93	42,73	3170	32,38	0,97	1,21	0,79	-7,45	0,71
	13:10	13:20	13:29	13:39	40,51	47,00	3170	32,90	1,08	1,48	0,83	-10,87	0,72
	13:30	13:40	13:49	13:59	41,53	48,10	2950	33,40	1,02	1,46	0,84	-11,42	0,72
	13:50	13:59	14:09	14:18	40,64	45,53	3230	33,05	0,83	1,33	0,82	-10,03	0,72
	14:10	14:19	14:29	14:38	37,63	41,27	3230	32,68	0,62	0,90	0,78	-6,77	0,72
	14:30	14:39	14:49	14:58	36,33	39,70	3200	32,43	0,57	0,77	0,77	-5,59	0,71
	14:50	14:59	15:09	15:18	35,13	37,93	3170	32,03	0,47	0,56	0,75	-4,50	0,71
	15:10	15:19	15:29	15:38	33,97	36,40	3170	31,85	0,41	0,44	0,74	-3,34	0,71
	15:50	15:59	16:09	16:18	38,13	42,27	3170	33,18	0,69	1,06	0,79	-7,20	0,72
	16:10	16:19	16:29	16:38	37,33	40,83	3170	32,75	0,58	0,83	0,78	-6,33	0,72
	16:30	16:39	16:49	16:58	36,20	39,00	3170	32,58	0,47	0,68	0,76	-5,02	0,72

Dados de Campo - Coletor com plástico e isopor e resultado das variáveis

Dia/mês	Tempo em horas*				Temp. água (°C)	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	variáveis					
	(1)	(2)	(3)	(4)				entrada	saída	y	x	z	t
13/02	14:50	15:01	15:09	15:20	29,00	36,13	32,50	2800	1,05	1,41	0,72	-0,07	0,71
	15:10	15:21	15:29	15:40	29,00	35,47	32,40	2800	0,95	1,36	0,71	0,46	0,71
	15:30	15:41	15:49	16:00	29,00	35,20	32,10	2800	0,91	1,18	0,71	0,00	0,71
	15:50	16:01	16:09	16:20	29,00	35,10	32,10	2800	0,90	1,12	0,71	0,05	0,71
14/02	17:00	17:10	17:19	17:29	28,70	32,10	32,10	3170	0,57	0,74	0,70	1,70	0,71
	08:40	08:51	08:59	09:10	27,87	31,93	29,25	2750	0,59	0,81	0,69	-0,65	0,68
	09:00	09:11	09:19	09:30	28,25	33,45	30,60	2670	0,73	0,99	0,70	-0,25	0,70
	09:20	09:32	09:39	09:51	28,40	33,93	30,96	2550	0,74	1,04	0,70	-0,21	0,70
	09:40	09:52	09:59	10:11	28,69	34,95	31,26	2500	0,84	1,07	0,71	-0,52	0,70
	10:00	10:12	10:19	10:31	28,78	35,83	31,55	2450	0,91	1,16	0,71	-0,76	0,71
15/02	10:20	10:33	10:39	10:52	28,90	36,90	32,25	2380	1,00	1,24	0,72	-0,65	0,71
	08:30	08:49	08:49	09:08	31,53	33,43	26,86	1600	0,16	0,38	0,71	-0,62	0,66
	08:50	09:09	09:09	09:28	30,50	33,50	27,38	1600	0,25	0,40	0,71	-4,62	0,67
	09:10	09:32	09:29	09:51	31,97	36,43	28,15	1340	0,32	0,58	0,73	-6,05	0,67
	09:30	09:52	09:49	10:11	34,85	40,10	28,78	1340	0,37	0,79	0,76	-8,70	0,68
	09:50	10:12	10:09	10:31	37,20	42,90	29,18	1340	0,40	0,90	0,79	-10,87	0,68
	10:10	10:33	10:29	10:52	38,50	44,03	29,52	1300	0,38	0,87	0,80	-11,75	0,69
	10:30	10:54	10:49	11:13	38,33	45,27	29,52	1250	0,46	0,84	0,81	-12,28	0,69
10:50	11:15	11:09	11:34	38,80	46,50	29,68	1220	0,49	0,96	0,81	-12,97	0,69	
	11:10	11:36	11:29	11:55	39,53	48,70	29,90	1150	0,56	1,01	0,83	-14,22	0,69

Dados de campo - coletor com plástico e isopor e resultados das variáveis

Dia/mês	Tempo em horas*				Temp. água (°C)	Temp. água entrada	Temp. água saída	Temp. Ambien. (°C)	Fluxo (g/min)	variáveis				
	(1)	(2)	(3)	(4)						y	x	z	t	v
15/02	11:30	11:57	11:49	11:16	41,20	51,40	31,10	1120	0,60	1,17	0,85	-15,20	0,70	
	12:40	12:49	12:59	13:08	36,33	41,27	31,25	3340	0,89	1,19	0,78	-7,60	0,70	
	13:00	13:09	13:19	13:28	37,30	42,67	31,60	3330	0,94	1,31	0,79	-8,40	0,71	
	13:20	13:29	13:39	13:48	37,90	43,00	32,05	3330	0,89	1,39	0,79	-8,40	0,71	
	14:00	14:09	14:19	14:28	39,70	45,73	32,83	3250	1,03	1,48	0,82	-9,89	0,72	
	14:20	14:29	14:39	14:48	39,30	44,67	32,40	3250	0,92	1,39	0,81	-9,59	0,71	
	15:00	15:10	15:19	15:29	38,47	43,27	32,45	3080	0,78	1,12	0,80	-8,42	0,71	
	15:20	15:30	15:39	15:49	38,20	42,80	32,73	3080	0,75	1,06	0,79	-7,77	0,72	
	15:40	15:50	15:59	16:09	37,87	42,03	32,85	3080	0,67	0,94	0,79	-7,10	0,72	
	16:00	16:10	16:19	16:29	37,30	41,30	32,60	3067	0,60	0,81	0,78	-6,57	0,72	
	16:20	16:30	16:39	16:49	36,77	39,97	32,83	3067	0,52	0,77	0,77	-5,54	0,72	
	16:40	16:50	16:59	17:09	36,07	38,73	33,05	3000	0,42	0,61	0,76	-4,35	0,72	
	17:00	17:10	17:19	17:29	35,27	37,43	32,85	3000	0,34	0,50	0,75	-3,50	0,72	
	17:20	17:30	17:39	17:49	34,27	35,90	32,40	3000	0,26	0,36	0,74	-2,69	0,71	
	17:40	17:50	17:59	18:09	33,17	34,10	32,00	3000	0,15	0,24	0,73	-1,64	0,71	

* (1) a (4) Intervalo de tempo que fornece a média da radiação recebida, Q - variável x
 (1) a (3) Intervalo de tempo que fornece a média da temperatura de entrada de fluido no coletor, T_e
 (2) a (4) Intervalo de tempo que fornece a média da temperatura de saída de fluido no coletor, T_s
 (1) a (4) Intervalo de tempo que fornece a média da temperatura ambiente, T_a .

ANEXO 3

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS
DA REGIÃO DE MARINGÁ

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
 CONVÊNIO - INEMET - UEM
 DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Código da Estação: 83.767 - Maringá - Média Mensal

ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL DE MARINGÁ - PARANÁ - 7.º DISME														
ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DA UEM/INEMET - INÍCIO DAS OBSERVAÇÕES DEZEMBRO / 78														
LATITUDE: 23º 25' s				LONGITUDE: 51º 57' w				ALTITUDE: 542 m						
MÊS/ ANO	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA DO AR %	CHUVA NO MÊS mm	INSOLA- ÇÃO horas	PRESSÃO mb	ESTADO GERAL do TEMPO	VENTO - Dir - Veloc. - m/s					
	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA						12hs 09 hrs	TMG	18hs 15 hrs	TMG	24hs 21 hrs	TMG
12/78	25.3	27.7	22.7	70	65.7	211.7	949.0		1.0		1.0		1.0	
01/79	24.9	28.7	22.2	64	119.9	255.7	949.3		1.0		1.0		1.0	
02	25.9	29.7	23.2	69	195.3	220.1	949.8		2.0		2.0		1.0	
03	24.9	29.0	21.9	74	79.6	238.5	950.8		2.0		1.0		1.0	
04	21.6	25.5	19.7	75	105.6	206.6	952.0		2.0		2.0		1.0	
05	19.1	22.5	16.2	79	150.7	198.1	954.5		1.0		2.0		1.0	
06	19.8	24.0	16.5	70	0	242.3	958.8		1.0		2.0		2.0	
07	18.1	21.8	15.2	66	71.4	193.8	958.3		1.0		2.0		1.0	
08	22.4	26.2	19.5	57	30.5	228.7	953.8		2.0		2.0		1.0	
09	20.5	23.6	18.2	69	225.2	176.2	954.5		2.0		3.0		1.0	
10	24.2	27.6	21.6	64	234.3	219.6	952.1		2.0		2.0		1.0	
11	23.6	26.6	21.3	64	110.5	235.6	951.0		2.0		2.0		1.0	
12	24.6	27.2	22.4	76	328.2	146.1	949.0		1.6		1.5		1.1	
01/80	24.6	27.5	22.5	72	227.1	235.1	950.3		1.7		1.5		1.0	
02	24.7	27.3	22.7	75	234.6	189.6	949.6		2.1		2.1		1.0	
03	26.3	29.3	24.3	67	199.0	245.6	952.7		1.3		1.8		1.0	
04	24.0	26.1	21.9	70	143.8	205.0	953.2		2.2		2.0		2.1	
05	21.2	24.4	19.1	70	175.9	205.0	955.6		1.6		1.6		1.7	
06	18.4	22.3	15.7	63	68.6	201.5	956.4		2.0		2.1		1.4	
07	20.1	23.8	17.2	69	44.8	192.9	954.1		1.2		3.0		2.1	
08	20.8	24.3	17.8	68	94.8	182.8	953.7		1.7		2.7		1.6	
09	18.9	23.5	13.2	67	186.1	148.5	952.8		2.0		2.3		1.7	
10	24.2	27.7	21.8	62	148.7	223.4	951.4		2.1		2.2		1.3	
11	23.9	28.6	18.0	64	102.3	132.4	949.1		2.0		1.9		0.6	
12	25.5	28.3	23.6	72	298.3	219.7	946.2		2.9		1.5		1.2	
01/81	25.4	28.2	23.3	76	166.2	206.3	948.9		1.7		1.7		0.9	
02	25.8	28.7	23.3	73	141.7	181.2	950.9		1.2		1.7		0.6	
03	25.6	28.8	23.0	66	108.2	248.4	948.6		1.3		1.3		1.0	
04	22.4	26.6	20.5	62	218.2	159.1	051.9		2.0		1.3		0.9	
05	22.8	26.5	20.4	62	8.7	258.7	953.8		1.8		1.5		0.6	
06	17.4	21.4	15.2	71	132.4	183.4	954.3		1.5		2.2		1.4	
07	17.1	21.7	13.6	56	16.2	259.4	957.1		1.9		2.8		1.2	
08	21.9	26.1	18.6	50	16.0	194.8	953.4		1.6		2.2		1.5	
09	23.4	27.7	19.7	48	27.8	203.3	952.5		1.8		2.5		1.7	
10	21.9	24.9	19.6	70	295.4	176.8	950.1		1.8		1.5		0.6	
Média do Mês					Total	Total								

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
 CONVÊNIO - INEMET - UEM
 DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Código da Estação: 83.767

Maringá

Média Mensal

ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL DE MARINGÁ - PARANÁ - 7.º DISME											
ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DA UEM/INEMET - INÍCIO DAS OBSERVAÇÕES DEZEMBRO/78											
LATITUDE: 23° 25' S				LONGITUDE: 51° 57' W				ALTITUDE: 542 m			
MÊS/ ANO	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA DO AR %	CHUVA NO MÊS mm	INSOLA- ÇÃO. horas	PRESSÃO mb	ESTADO GERAL do TEMPO	VENTO - Dir - Veloc. - m/s		
	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA						12hs 09 hrs	18hs 15 hrs	24hs 21 hrs
11/81	25.4	28.5	23.1	68	127.3	220.6	947.4		1.7	1.4	1.3
12	23.6	26.0	21.7	77	403.2	186.7	949.0		1.5	1.4	2.1
01/82	25.3	29.4	19.5	68	87.0	275.0	948.8		1.8	1.4	0.6
02	25.5	29.9	20.4	72	180.1	172.3	949.6		1.5	1.7	0.8
03	24.6	28.8	19.6	72	97.5	183.3	948.6		1.9	1.2	0.8
04	22.9	27.8	17.0	62	20.1	264.3	953.5		1.9	1.4	0.7
05	20.2	25.1	14.7	61	38.8	235.5	953.4		1.7	1.7	0.7
06	18.6	23.5	14.5	79	240.5	148.6	953.3		1.2	2.2	0.9
07	19.4	24.4	14.7	67	128.6	238.8	954.0		1.7	2.0	1.0
08	21.1	24.9	15.9	68	41.0	165.1	953.9		1.4	1.8	0.8
09	22.7	27.5	16.4	57	51.1	207.6	952.7		1.6	1.5	1.2
10	23.1	27.7	17.4	69	294.7	212.1	949.5		1.6	2.1	1.0
11	24.3	28.8	18.6	76	261.4	164.6	948.4		1.7	1.8	1.0
12	23.3	27.4	18.5	77	299.4	5.7	948.8		1.5	1.2	0.7
01/83	25.7	30.0	20.8	76	269.6	207.6	946.7		1.4	1.5	0.4
02	25.8	30.2	20.6	74	122.9	165.6	949.7		1.3	0.9	0.9
03	25.8	30.2	21.3	75	123.9	175.3	947.9		1.4	1.3	0.8
04	23.1	27.4	17.9	77	175.5	161.4	950.3		1.4	0.8	0.7
05	21.0	24.6	17.0	80	237.8	152.7	950.7		1.4	1.6	1.1
06	16.5	20.4	12.0	83	332.8	107.8	954.0		0.8	1.3	0.8
07	20.2	24.1	14.4	69	24.7	174.2	952.1		0.9	2.3	1.0
08	21.3	26.6	14.5	54	0	231.8	955.0		1.5	1.8	1.0
09	19.0	23.7	14.1	76	308.9	110.9	952.8		1.3	1.2	0.8
10	22.8	27.0	17.0	70	197.1	190.9	951.7		1.3	1.4	0.7
11	24.2	28.8	17.9	62	180.4	242.7	950.2		1.3	1.1	0.9
12	24.8	29.2	19.1	70	151.4	212.5	949.1		0.9	1.2	0.5
01/84	26.7	31.1	20.9	69	140.2	256.8	948.9		0.7	1.4	0.9
02	27.3	32.4	21.7	67	79.8	244.4	949.5		1.1	0.9	0.3
03	25.2	29.7	20.3	70	182.4	190.2	949.2		1.4	1.2	0.7
04	22.0	26.4	16.7	72	167.8	197.3	952.5		1.5	1.7	0.5
05	22.3	26.7	16.7	70	63.8	220.1	951.6		0.9	1.3	0.8
06	20.7	25.6	13.8	63	9.0	230.1	953.8		0.9	1.6	0.7
Média do Mês					Total	Total					

ECPM - 02

ANEXO 4

EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS
PARA DIFERENTES USOS ESPECÍFICOS

ANEXO 4

EXEMPLO 1 - USO DOMÉSTICO

Seja o dimensionamento de um sistema de uso doméstico para uma família de 5 pessoas e uso de água quente para tomar banho no fim da tarde.

- . vazão do chuveiro: 3 l/min;
- . tempo de uso do chuveiro: 5 pessoas X 5 minutos = 25 minutos;
- . volume de água utilizada: 25 minutos X 3 l/min = 75 litros;
- . volume da caixa d'água: $M_{cx} = 75$ litros;
- . vazão da bomba (do tipo da utilizada na pesquisa): 500 l/h;
- . temperatura média de um dia de inverno: 15 °C;
- . temperatura inicial da água no inverno: 19 °C;
- . volume de água no coletor (estimativa inicial): $C = 50$ litros;
- . volume total (coletor-acumulador): $M = M_{cx} + C = 125$ litros.

CALCULO DE τ_{cc} :

$$\tau_{cc} = \frac{125 \text{ l}}{500 \text{ l/h}} = 0,25 \text{ h} = 15 \text{ minutos.}$$

Para obter, a área do coletor, com $\tau_{cc} = 15$ minutos em um dia médio de inverno, $T_{ma} = 36$ °C, $m_{ca} < 6$ (TABELA 16). A área de coletor construído para $m_{ca} = 6$ g/cm², será:

$$m_{ca} = \frac{M}{A}; \quad A = \frac{M}{m_{ca}} = \frac{125000 \text{ g}}{6 \text{ g/cm}^2} = 20833,3 \text{ cm}^2 = 2,08 \text{ m}^2.$$

Então, conforme TABELA 16, deve-se utilizar um coletor de $2,1 \text{ m}^2$ de área do absorvedor, com cobertura transparente e isolamento térmico.

Afim de se ter maior segurança permitindo um aproveitamento ainda melhor para alguns dias ruins de inverno, pode-se utilizar um coletor um pouco maior (3 m^2 por exemplo) e uma caixa isolada termicamente que pode proporcionar alguma acumulação de água quente de um dia para outro.

EXEMPLO 2 - ATENDER OPERÁRIOS DE UMA FÁBRICA

Supondo que uma fábrica necessite de água aquecida em $36 \text{ }^\circ\text{C}$ para o banho de 100 operários no fim da tarde. Considerando dados similares ao exemplo 1, e um dia médio de inverno (TABELA 16) temos:

$$\tau_{cc} < 120 \text{ minutos}$$

$$m_{ca} < 6 \text{ g/cm}^2.$$

Sendo o volume de água utilizada igual a 1500 litros = 1500000 g e considerando que cada m^2 de coletor tenha um volume de 15 l = 15000 g:

$$m_{ca} = \frac{M}{A} = \frac{m_{cx} + m_c}{A}$$

onde m_{cx} é a massa de água da caixa e m_c é a massa de água do coletor.

Então:

$$m_{ca} = \frac{m_{cx}}{A} + 1,5 \text{ g/cm}^2$$

CALCULO DA ÁREA DO COLETOR, A:

sendo $m_{ca} = 6$ e $m_{cx} = 1500000 \text{ g}$, então a área do coletor é:

$$6 = \frac{1500000}{A} + 1,5 \qquad A = 33,3 \text{ m}^2.$$

CALCULO DA VAZÃO, f :

sendo $\tau_{cc} = 120 \text{ min}$ e $m_{cx} = 1500000 \text{ g}$, temos:

$$\tau_{cc} = \frac{m_{cx}}{f} ; 120 \text{ min} = \frac{1500000 \text{ g}}{f}, \text{ então } f = 750 \text{ l/h.}$$

Mesma conclusão do EXEMPLO 1, usando 40 m^2 de área do absorvedor, com cobertura transparente e isolamento térmico.

EXEMPLO 3 - PISCINA

Caso se deseje manter a temperatura de uma piscina de 500000 litros a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ na região de MARINGÁ-PR., no inverno, sabendo-se que em condições normais ela perderá $1 \text{ }^\circ\text{C}$ por dia e a mesma possui um filtro com uma vazão de 15000 l/h .

CALCULO DE τ_{cc} :

$$\tau_{cc} = \frac{500000 \text{ l}}{15000 \text{ l/h}} = 33,3 \text{ h} \approx 2000 \text{ min.}$$

Considerando que a temperatura da piscina deve ser mantida a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e que a temperatura nestas condições cairá naturalmente para $24 \text{ }^\circ\text{C}$ de um dia para outro, deve-se utilizar o programa de calculo do ANEXO 1 para determinar qual é o melhor m_{ca} que melhor se ajusta às condições dadas. Aplicando nosso modelo climático (FIGURA), com temperatura ambiente e radiação solar de um dia média de inverno, $T_e = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau_{cc} = 2000 \text{ min}$ (condição para aproveitar a bomba do filtro) e variando m_{ca} de 50 em 50 g/cm^2 , se obteve que o m_{ca} adequado é:

variante 1 = 500 g/cm^2

variante 2 = 500 g/cm^2

variante 3 = 400 g/cm^2 .

Devido às condições de custo do sistema, deve-se escolher a variante 1.

CALCULO DA ÁREA DO COLETOR, A:

$$m_{ca} = \frac{m_{cx}}{A}; A = \frac{m_{cx}}{m_{ca}} = \frac{500000000 \text{ g}}{500 \text{ g/cm}^2} = 10^6 \text{ cm}^2; A = 100 \text{ m}^2.$$

O coletor solar escolhido poderia, eventualmente, ser utilizado como cobertura de uma área de lazer, depósito, vestiários, etc., com inclinação adequada para a região e época do ano, o que permitiria aumentar o rendimento e, porém, diminuir a área do coletor em aproximadamente 15 %.

EXEMPLO 4 - PRAQUECIMENTO INDUSTRIAL

Seja uma indústria que consumisse 50000 l/dia de água a 40 °C no verão e deseja-se fazer um preaquecimento para diminuir o consumo de combustível. Sendo a temperatura de entrada $T_e = 24$ °C, para um dia médio de verão (TABELA 10) temos:

$$\text{variante 1: } \tau_{cc} = 20 \text{ min e } m_{ca} = 10 \text{ g/cm}^2$$

$$\text{variante 2: } \tau_{cc} = 20 \text{ min e } m_{ca} = 22 \text{ g/cm}^2$$

$$\text{variante 3: } \tau_{cc} = 240 \text{ min e } m_{ca} = 19 \text{ g/cm}^2.$$

CALCULO DA ÁREA, A E DA VAZÃO, f:

variante 1:

$$m_{ca} = \frac{m_{cx}}{A} + 1,5 \text{ g/cm}^2$$

$$10 = \frac{500000000 \text{ g}}{A} + 1,5; \quad A = 588 \text{ m}^2.$$

$$\tau_{cc} = \frac{m_{cx}}{f}$$

$$20 = \frac{500000000 \text{ g}}{f}; \quad f = 150000 \text{ l/h.}$$

variante 2:

$$A = 244 \text{ m}^2.$$

$$f = 150000 \text{ l/h.}$$

variante 3:

$$A = 286 \text{ m}^2.$$

$$f = 1250 \text{ l/h.}$$

Analizando-se os resultados obtidos, a escolha pode ser feita conforme as condições e necessidades do usuário. A variante 1 deve ser descartada visto necessitar de uma área relativamente grande comparada às demais. Portanto a escolha fica entre a variante 2 ou 3. Escolhendo-se a variante 2, o coletor é mais simplificado visto só possuir o isolamento térmico mas com uma bomba que proporcione uma vazão de 150000 l/h, ou a variante 3 com uma vazão de 1250 l/h.

ANEXO 5

CONVERSÃO DE UNIDADES

De	a	multiplicar por	De	a	multiplicar por
acre-ft	gal	$3,26 \times 10^5$	cal/g	Btu/lb	1,80000
"	litros	$1,233 \times 10^6$	"	Wh _t /kg	1,1622
"	m ³	1233,5	cal/s	Btu/h	14,286
acre	ha	0,4047	"	W	4,184
Angstrom (Å)	µm	$1,--- \times 10^{-4}$	"	J/s	4,184
atm	kg/m ²	$1,0332 \times 10^4$	"	Btu/s	$3,9684 \times 10^{-3}$
"	kg/cm ²	1,0332	"	ft-lb/s	3,0860
"	g/cm ²	$1,0332 \times 10^3$	"	g-cm/s	$4,2665 \times 10^4$
"	lb/in ²	14,70	cal/cm ² s	Btu/ft ² h	$1,3272 \times 10^4$
"	ton/ft ²	1,058	"	W/cm ²	4,184
bar	atm	0,9869	"	W/m ²	$4,184 \times 10^4$
"	dina/cm ²	10^6	"	J/m ² s	$4,184 \times 10^4$
"	kg/m ²	$1,020 \times 10^4$	"	kW/m ²	41,84
"	lb/in ²	14,5038	"	MJ/m ² h	150,62
Btu	J	$1,0548 \times 10^3$	cal/cm ²	L (langley)	1,0000
"	kJ	1,0548	"	Ws	4,184
"	cal	251,996	cal/cm ² h	kW/m ²	$1,1622 \times 10^{-2}$
"	kWh _t	$2,928 \times 10^{-4}$	"	W/cm ²	$1,1622 \times 10^{-3}$
"	ft-lb	778,3	cal/cm ² min	kW/m ²	$6,9732 \times 10^{-1}$
Btu/h	ft-lb/s	0,2162	"	L/min	1,0000
"	cal/s	0,0700	cal/cm ² C°s/cm	Btu/ft ² F°h/ft	0,067197
"	W _t	0,2931	"	Btu/ft ² F°h/in	0,80636
Btu/min	kW _t	0,01757	"	J/cm ² C°s/cm	4,184
"	W _t	17,57	"	W/cm ² C°/cm	4,184
Btu/lb	J/kg	$2,326 \times 10^{-3}$	"	W/m ² C°/cm	$4,184 \times 10^4$
"	cal/g	0,55555	cm	in	0,39370
Btu/ft ² min	W/m ²	18,914	"	ft	0,03281
"	cal/cm ² s	$4,521 \times 10^{-3}$	cm ²	in ²	0,15500
Btu/ft ² h	cal/cm ² s	$7,5344 \times 10^{-5}$	"	ft ²	$1,0764 \times 10^{-3}$
"	J/cm ² s	$3,1524 \times 10^{-4}$	cm ³	in ³	$6,1023 \times 10^{-2}$
"	W/m ²	3,1524	"	ft ³	$3,5315 \times 10^{-5}$
"	kJ/m ² h	11,348	cfm	litros/s	0,4720
"	cal/cm ² h	0,27125	día	s	86,500.0
"	cal/cm ² min	$4,5208 \times 10^{-3}$	dina	J/s	10^{-7}
"	L/min	$4,5208 \times 10^{-3}$	dina-cm ²	bar	10^{-6}
Btu/ft ² F°h	cal/m ² C°s	1,3573	erg	Btu	$9,4845 \times 10^{-11}$
"	W/m ² C°	5,6783	"	cal	$2,3901 \times 10^{-8}$
Btu/ft ² F°h/ft	cal/cm ² C°h/cm	14,881	"	g-cm	$1,0197 \times 10^{-3}$
"	J/m ² C°s/m	1,73073	"	kWh _t	$2,7778 \times 10^{-14}$
"	cal/m ² C°s/cm	41,13548	ft	cm	30,480
"	W/m ² C°/cm	17,294	"	m	0,30480
Btu/ft ² F°h/in	cal/cm ² C°h/cm	1,2401	ft(agua)	atm	0,0295
"	kJ/m ² C°h/cm	100,45	"	lb/in ²	0,4335
"	cal/m ² C°s/cm	3,4447	"	kg/m ²	304,8
"	cal/cm ² C°s/cm	$3,4447 \times 10^{-4}$	ft ²	cm ²	929,03
"	W/m ² C°/cm	14,412	"	m ²	0,092903
"	W/m ² C°/m	0,14412	ft ³	cm ³	$2,8317 \times 10^4$
cal	g-cm	42664,9	"	m ³	$2,8317 \times 10^{-2}$
"	J	4,184	"	gal(U.S.)	7,48052
"	Btu	$3,9683 \times 10^{-3}$	"	litros	28,3106
"	kWh _t	$1,1622 \times 10^{-6}$	ft/sec	cm/s	30,48
"	kJ	$4,184 \times 10^{-3}$	"	km/h	1,09728
"	Wh _t	$1,1622 \times 10^{-3}$	"	mi/h	0,68182

De	a	multiplicar por	De	a	multiplicar por
ft-lb	Btu	1,2841x10 ⁻³	km	mi	0,62137
"	cal	0,32405	"	ft	3280,84
"	J	1,35582	kcal	J	4,1840x10 ³
gal(U.S.)	cm ³	3785,41	km ²	acres	247,105
"	lb(agua)	8,34517	"	mi ²	0,38610
"	kg(agua)	3,7852	km/h	ft/s	0,9113
"	ft ³	0,13368	"	mi/h	0,62137
"	acre-ft	3,0689x10 ⁻⁶	knots	cm/s	51,444
"	litros	3,7852	"	ft/s	1,6878
"	lb	2,2046x10 ⁻³	"	mi/h	1,1508
E	g/cm ²	1,4223x10 ⁻²	"	km/h	1,852
"	atm	9,6784x10 ⁻⁴	kW	Btu/min	56,8253
g/cm ³	kg/m ³	10 ³	"	Btu/h	3414,43
"	lb/in ³	3,6126x10 ⁻²	"	hp	1,3410
"	lb/ft ³	62,4280	"	cal/min	1,43197x10 ⁴
g-cm	Btu	9,3011x10 ⁻⁹	"	cal/s	238,662
"	J	9,8066x10 ⁻⁵	"	J/s	10 ³
g-cm/s	cal/s	2,3438x10 ⁻⁵	"	kJ/h	3600
hp	Btu/min	42,4356	kWh	Btu	3410,08
"	kW	0,74570	"	cal	8,59326x10 ⁵
"	kJ-s	0,74570	"	kcal	8,59326x10 ²
"	cal/min	1,06936x10 ⁴	"	kJ	3600
in	cm	2,54000	"	lb(H ₂ O evap.)	3,53
in(agua)	lb/in ²	3,6126x10 ⁻²	kW/m ²	Btu/ft ² h	317,21
"	kg/m ²	25,3993	"	W/cm ²	0,10000
"	atm	2,458 x10 ⁻³	"	cal/cm ² s	0,23901
in ²	cm ²	6,4516	"	kJ/m ² h	3600
"	ft ²	6,9444x10 ⁻³	L (langley)	cal/cm ²	1,00000
in ³	cm ³	16,3871	"	J/cm ²	4,184
"	m ³	1,6387x10 ⁻⁵	"	kJ/m ²	41,84
"	ft ³	5,7870x10 ⁻⁴	"	Btu/ft ²	3,6866
in(Hg)	atm	3,3421x10 ⁻²	L/min	cal/cm ² min	1,0000
"	ft(agua)	1,1330	"	cal/cm ² s	1,6667x10 ⁻²
J	Btu	9,48451x10 ⁻⁴	"	Btu/ft ² h	1,3272x10 ⁴
"	kWh	2,7778x10 ⁻⁷	ltro	in ³	61,0254
"	cal	0,239006	"	gal	0,26416
"	erg	10 ⁷	"	ft ³	3,53157x10 ⁻²
"	ft-lb	0,737562	"	cm ³	1000
"	Wh	2,7778x10 ⁻⁴	lb/in ²	g/cm ²	70,3070
J/cm ²	cal/cm ²	0,239006	"	kg/m ²	703,070
J/s	W	1	lb/in ³	g/cm ³	27,6799
"	Btu/min	5,6907x10 ⁻²	"	kg/m ³	2,76799x10 ⁴
"	cal/min	14,3404	lumen	W	1,4706
"	hp	1,34102x10 ⁻³	m	mi	6,2137x10 ⁻⁴
kJ	kWh	2,7778x10 ⁻⁴	"	ft	3,2808
kJ/m ²	Btu/ft ²	8,8111x10 ⁻²	"	in	39,3701
"	cal/m ²	239,006	m ²	ft ²	10,7639
"	cal/cm ²	0,02390	"	in ²	1550,00
"	kcal/m ²	0,23901	"	ha	10 ⁻⁴
kcal/m ² dia	MJ/m ² dia	4184,0	"	acres	2,47105x10 ⁻⁴
"	kJ/m ² dia	4,1840	m ³	ft ³	35,3147
kg	lb	2,20462	"	acre-ft	8,1071x10 ⁻⁴
kg/cm ²	atm	0,96784	"	in ³	6,10237x10 ⁴
"	ft(agua)	32,8093	"	gal (U.S.)	264,172
"	lb/ft ²	14,2233			
MBtu	kJ	1,0548x10 ⁶	term	kWh	29,28
"	MkJ	1,0548	"	MJ	1,0548x10 ²
"	kWh	292,875	"	kcal	2,5200x10 ⁴
MkJ/m ²	kBtu/ft ²	88,11	W	Btu/h	3,41443
mi	yds	1760	"	cal/s	0,239045
"	m	1609,34	"	hp	1,34102x10 ⁻³
"	km	1,60934	"	J/s	1,00000
mi ²	km ²	2,58999	W/cm ²	cal/cm ² s	0,239045
"	acres	640,000	"	Btu/ft ² h	31,721
"	ha	258,9986	"	kW/m ²	10,0000
N (newton)	dinas	10 ⁵	"	cal/cm ² min	14,3310
poundal	lb	0,03108	"	L/min	14,3310
"	g	14,0981	"	kJ/m ² h	3,60000x10 ⁴
lb	g	453,5924	Wh	cal	859,184
"	kg	0,453592	"	ft-lb	2655,22
therm	Btu	10 ⁵	"	kg-m	367,098
"	MBtu	0,10000	"	kJ/m ²	3,6000x10 ⁴