

MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - PROMEC

PRODUÇÃO DE GELO COM
COLETORES SOLARES CONCENTRADORES PARABÓLICOS COMPOSTOS
E REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO.

por

PAULO OTTO BEYER
Engenheiro Mecânico

Trabalho realizado no Departamento de Engenharia Mecânica
da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PROMEC

PORTO ALEGRE

1988

PRODUÇÃO DE GELO COM
COLETORES SOLARES CONCENTRADORES PARABÓLICOS COMPOSTOS
E REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

D I S S E R T A Ç Ã O

Apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PROMEC
como parte dos requisitos para a obtenção do Título de

MESTRE EM ENGENHARIA
Área de Concentração: Energia

por

Paulo Otto Beyer - Engenheiro Mecânico

1988

Esta DISSERTAÇÃO foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia, Área de Concentração Energia e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Dr. Oscar Daniel Corbella
UFRGS

Banca Examinadora: Dr. Oscar Daniel Corbella, UFRGS
Dr. Cirus Hackenberg, UFRJ
Dr. Arno Krenzinger, UFRGS

Coordenador do PROMEC: Dr. Oscar Daniel Corbella

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Oscar Daniel Corbella, pelas orientações fornecidas;

Ao Eng. João Luiz Pacheco, MSc, pela amizade e auxílio na tomada de dados;

Aos Dr. Arno Krenzinger, Eng. Pedro Barbosa Mello, MSc, Eng. João Luiz Salvadoretti, MSc e Eng. Horácio Antônio Vielmo, MSc, pelas opiniões, sugestões e comentários ao longo do trabalho;

Aos demais colegas do Grupo de Energia Solar, pelas opiniões e amizade;

À FINEP, CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro.

A
Luciana,
Daiana e
Eliana,
e a meus Pais.

Í N D I C E

RESUMO	8
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO - PRODUÇÃO DE GELO	12
1.1 Fundamentos do Trabalho	12
1.2 Refrigeração de Alimentos	12
1.3 Meio Rural	13
1.4 Energias Convencionais e Não-Convencionais	16
1.5 Ciclos de Refrigeração	17
1.5.1 Generalidades	17
1.5.2 Refrigeração por compressão	22
1.5.3 Refrigeração por absorção	24
1.6 Produção de Gelo com Energia Solar	27
2 SISTEMA SOLAR USADO COMO FONTE TÉRMICA PARA PRODUÇÃO DE GELO	30
2.1 Introdução	30
2.2 Coletores Solares Concentradores	30
2.2.1 Generalidades	30
2.2.2 Coletores parabólicos compostos	32
2.3 Estufa Solar	35
2.4 Projeto do Sistema Solar	36
3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ÓTICA DE COLETORES SOLARES CONCENTRADORES PARABÓLICOS COMPOSTOS	37
3.1 Fator de Interceptação nos Coletores Parabólicos Compostos	37
3.2 Simulação do Comportamento Ótico de Coletores Solares Concentradores Parabólicos Compostos sob Radiação Solar através de Micro-Computador	39

3.3	Análise das Simulações Efetuadas para os Coletores Parabólicos Compostos	47
4	TEORIA E MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS DA REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO	59
4.1	Teoria do Ciclo de Refrigeração por Absorção	59
4.1.1	Evaporação da Amônia	59
4.1.2	Compressão de Amônia	61
4.1.3	Absorção pela Solução	61
4.1.4	Aquecimento da Solução	67
4.1.5	Destilação da Solução	68
4.1.6	Condensação da Amônia	70
4.1.7	Expansão da Amônia	70
4.1.8	Resfriamento da Solução	71
4.2	Descrição de Funcionamento	71
4.3	Medições Experimentais e Cálculos Energéticos	77
4.3.1	Aquecimento	77
4.3.2	Destilação	82
4.3.3	Resfriamento	87
4.3.4	Absorção	88
4.3.5	Balanco Energético do Ciclo	90
4.3.6	Evaporador/Congelador	90
4.3.7	Balanco Energético Total	92
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	94
	BIBLIOGRAFIA	100
	ANEXO I - Detalhamento de Engenharia do Sistema Solar	102
	ANEXO II - Descrição Detalhada do Programa para Simulação de Coletor Concentrador	151
	ANEXO III - Detalhamento de Engenharia dos Equipamentos da Máquina de Absorção	193
	ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS	200

RESUMO

O presente trabalho trata da produção de gelo com energia solar. A produção de gelo é feita através de um sistema de refrigeração por absorção, onde a energia solar é a fonte de calor. O gelo tem uma grande aplicação na conservação de alimentos, e a energia solar permite a produção de gelo onde não se dispõe de energia elétrica. Pode-se ver que a grande aplicação destes sistemas é tipicamente o meio rural.

O sistema pode ser dividido em duas partes: o sistema solar de captação de energia e o equipamento de refrigeração.

O sistema solar baseia-se no uso de coletores solares concentradores parabólicos compostos (CPC), onde a energia solar é utilizada para aquecimento de óleo térmico. Os coletores são posicionados dentro de uma "estufa", que os protege da ação do vento, permitindo uma estrutura mais leve.

Neste trabalho é feito um estudo do projeto de engenharia desenvolvido para o sistema solar, onde são analisadas as etapas de projeto propriamente dito, fabricação e testes iniciais do sistema.

Para quantificar o fator de interceptação de espelhos reais, foi feita uma simulação do comportamento dos coletores em micro-computador.

O equipamento de refrigeração baseia-se em um ciclo de absorção, que utiliza o óleo térmico aquecido como fonte de calor para seu funcionamento. O ciclo utiliza dois fluidos, a água como absorvente e a amônia como refrigerante. Partindo da bibliografia existente e da operação do equipamento procurou-se o conhecimento teórico do ciclo de refrigeração

por absorção.

As medições experimentais do equipamento de refrigeração foram feitas com o sistema trabalhando em regime, e os dados recolhidos foram utilizados em equações de balanço provenientes da análise teórica acima citada. Os resultados desses cálculos foram então comparados com o comportamento global do sistema medido em forma experimental.

ABSTRACT

This work deals with solar energy ice production. Ice is obtained from an absorption refrigeration system, on which solar energy is the heat source. Ice is very important for food conservation, and solar energy makes ice production possible where there is no electrical energy. Thus, farm regions seems like the main application of these systems.

The system can be divided into two components: the equipment for solar energy collection and the refrigeration equipment.

The solar equipment uses compound parabolic collectors (CPC) that heat thermal oil. The collectors are mounted inside a greenhouse, that protects the collectors from wind and allows a light structure.

This work describes an analysis of the engineering design developed for the solar system, as well as the factory making and the initial tests of the system.

The interception factor was evaluated by computer simulation of the collector behaviour.

The refrigeration equipment is based on an absorption cycle which uses the heated thermal oil as heat source, water as the absorbent and ammonia as the refrigerant. The operation of the system, as well as a survey on the available literature, allowed a study on the theory of the absorption refrigeration cycle.

The experimental measurements were obtained with the equipment working in constant operation (24 hours/day), and the results were utilized in the derived theoretical equations.

The results thus obtained were then compared to those derived from the experimental measurements.

1 INTRODUÇÃO - PRODUÇÃO DE GELO

1.1 Fundamento do trabalho

Este trabalho trata da confluência de dois ramos da técnica: Energias Alternativas e Refrigeração de Alimentos.

As Energias Alternativas têm sido até aqui desenvolvidas, em esferas internacionais, nacionais e regionais em diversas áreas, o que é de conhecimento relativamente geral, tanto quanto a necessidade de seu desenvolvimento. A Refrigeração de Alimentos pode ser encarada como uma técnica essencial à subsistência humana, nos moldes atuais de sociedade, dificilmente reorientável, onde poucos no meio rural produzem alimentos para muitos no meio urbano.

O presente trabalho surgiu então na união destas duas correntes, procurando concatenar os pontos positivos das duas áreas acima descritas e pesquisar seus desenvolvimentos. Não se pretende exaurir o assunto, mas sim propor, mostrar e confirmar algumas ideias, colocáveis em debate, mas positivamente de grande importância.

Para melhor entendimento do assunto será dada, neste capítulo, uma visão geral dos conceitos básicos das técnicas de Refrigeração de Alimentos e Ciclos de Refrigeração, e das Energias Alternativas capazes de acionarem estes ciclos.

Após essa visão geral será analisado, com mais profundidade, o sistema de Refrigeração de Alimentos com Energia Solar, através da Produção de Gelo, que é o assunto principal desta Dissertação de Mestrado.

1.2 Refrigeração de alimentos

Antigamente, com a inexistência do frio artificial,

era difícil a conservação de alimentos por períodos relativamente longos, sem modificação de algumas características do alimento. Existia a possibilidade de se armazenar frutas na forma de doces, carnes salgadas e secas, etc, com evidentes modificações nos alimentos.

A armazenagem por períodos prolongados exige a diminuição acentuada dos processos de deterioração nos alimentos. Uma forma de fazer isto, sem modificar as características dos alimentos, é a utilização do frio, condição que diminui os processos de deterioração.

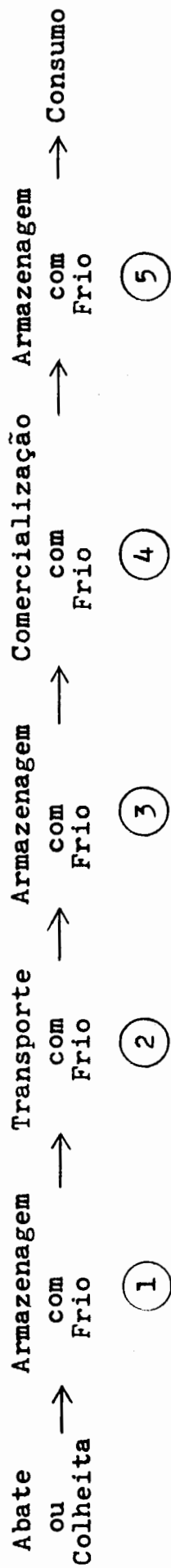
A presença do frio na conservação dos alimentos, desde a produção até consumo, está mostrada na Figura 1.1.

Ao longo dos anos desenvolveram-se várias técnicas de produção de frio, ou na verdade, retirada de calor em baixas temperaturas. Estas técnicas serão abordadas mais tarde.

1.3 Meio rural

Para o meio rural são conhecidos diversos posicionamentos que, por sua importância, são listados a seguir:

- a) Grande parte da zona rural produtora não tem energia elétrica;
- b) Eletrificação rural é importante socialmente mas muitas vezes deficitária;
- c) A fixação do homem no campo é fundamental para inverter a tendência do atual modelo de sociedade;
- d) O fornecimento de condições mínimas de conforto, ou até semelhança, com a sociedade urbana, é importante para a realização do ítem anterior;
- e) O uso do frio é fundamental para a conservação dos alimentos.



- 1 = Câmaras Frigoríficas ou Refrigeradores
- 2 = Caminhões ou Vagões Frigoríficos
- 3 = Câmaras Frigoríficas ou Refrigeradores
- 4 = Balcões ou Prateleiras Frigoríficas
- 5 = Refrigerador Doméstico

Fig. 1.1.- Presença do Frio na Conservação dos Alimentos

A energia é realmente algo muito importante, e como os alimentos são o meio de suprimento energético do homem, e como este apresenta-se em expansão numérica, chega-se à importância dos trabalhos efetuados sobre a produção e conservação dos alimentos.

Chega-se então a refrigeração com energias alternativas, que podem ser:

- a) Mini-quedas d'água;
- b) Energia eólica;
- c) Lenha e/ou combustíveis;
- d) Energia solar.

Mas, qual delas usar?

A resposta pode ser dada partindo de outra pergunta:

Qual das fontes acima se tem disponível no local?

A resposta a esta pergunta indica a provável resposta à primeira pergunta.

A refrigeração de alimentos, de forma abrangente, pode ser classificada pelo seu uso em:

- a) Resfriamento dos produtos;
- b) Congelamentos dos produtos.

As temperaturas usadas no primeiro caso estão em torno de 0°C , e as no segundo caso, em torno de -20°C . O presente trabalho preocupa-se somente com o primeiro caso.

Além disso, tem-se o seguinte:

- a) Um sistema de refrigeração, no meio rural,

deve ser capaz de atender várias famílias localizadas em pontos diferentes;

b) O gelo de água é uma forma de armazenagem de energia na forma de frio;

c) O gelo por si só, é um elemento termostático.

Logo, orientou-se o trabalho para sistemas produtores de gelo. Este gelo após produzido, pode ser distribuído e colocado, em cada residência familiar, em geladeiras de baixo custo, fabricadas localmente, ou em até eventuais refrigeradores mecânicos velhos irrecuperáveis em seu sistema frigorígeno.

1.4 Energias convencionais e não convencionais

As formas mais comuns de refrigeração são por compressão mecânica e absorção. A refrigeração a partir de compressão mecânica acionada por motor elétrico é mais efetiva que a refrigeração por ciclo de absorção. Isto será discutido mais profundamente na próxima seção, onde serão analisados os ciclos de refrigeração.

Portanto, onde se tem disponibilidade de energia elétrica, a refrigeração por compressão é a melhor solução, e de fato é como funciona a maioria dos refrigeradores e câmaras de armazenagem. Mas nos locais que não se dispõe de energia elétrica, ou esta é escassa ou racionada, as energias não convencionais podem dar lugar a outras alternativas. Neste caso podemos raciocinar que:

1) Os ciclos de compressão podem ser utilizados com:

a) Mini-quedas d'água, onde turbinas hidráulicas podem acionar diretamente ou via geradores elétricos o com-

pressor de refrigeração;

b) Energia Eólica, onde turbinas eólicas, preferencialmente de eixo vertical, podem acionar diretamente o compressor de refrigeração;

c) Energia Solar Foto-Voltaica, que produzindo eletricidade podem acionar diretamente os compressores de refrigeração.

2) Os ciclos de absorção podem ser utilizados com:

a) Lenha ou combustíveis residuais, onde a combustão desses elementos pode gerar o calor necessário à destilação do processo;

b) Energia solar, onde coletores solares podem converter a energia solar na energia térmica necessária à destilação do processo.

O presente estudo trata com esta última alternativa. Na seção seguinte deste capítulo será feita uma análise dos ciclos de refrigeração, e na seção final se discutirá a produção de gelo com energia solar.

1.5 Ciclos de refrigeração

1.5.1 Generalidades

Neste trabalho entende-se a produção de frio como a produção e manutenção de um meio ou ambiente em uma baixa temperatura quando este meio ou ambiente está circundado por outro meio ou ambiente em alta temperatura. Tal como expressado sinteticamente na segunda Lei da Termodinâmica, o calor vai seguir a tendência natural de todas as energias, que é fluir do maior potencial para o menor potencial. Assim como para a Energia Hidráulica os potenciais dependem da altura e para a Ener-

gia Elétrica os potenciais estão representados pela voltagem, para a Energia Térmica (calor), os potenciais são representados pelas temperaturas, isto é, o calor flui naturalmente da maior temperatura para a menor temperatura.

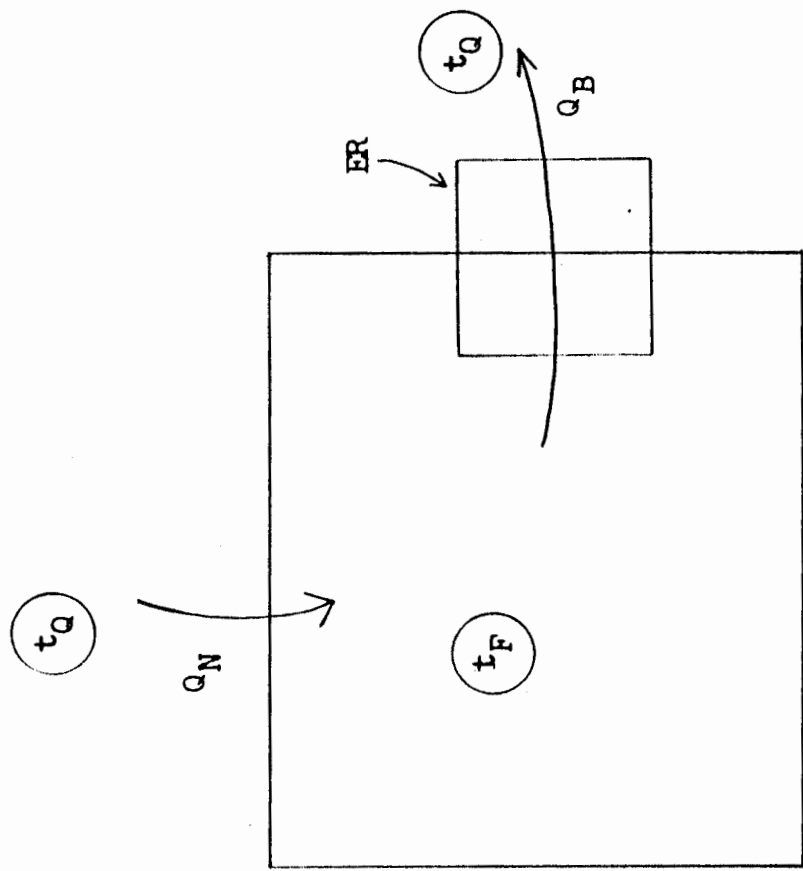
A produção e manutenção de frio é justamente o contrário, fazendo o calor fluir das menores temperaturas para as maiores temperaturas. Como isso é contrário à tendência natural do calor, o processo só é possível, conforme a segunda Lei da Termodinâmica, com a entrada de trabalho externo. veja-se por exemplo, o bombeamento de água da menor altura para a maior altura, o que exige trabalho externo na bomba.

Para o "bombeamento" ou transferência de calor é necessária a presença de um equipamento de refrigeração, que funcione segundo um ciclo de refrigeração, conforme pode ser visto na Figura 1.2. Tem-se então, a necessidade de transferir calor a partir do consumo de energia externa, que é possível com o uso de um ciclo termodinâmico.

Para que o ciclo tenha o máximo rendimento possível, tenta-se realizar o ciclo termodinâmico com o maior rendimento, que é o Ciclo de Carnot.

O Ciclo de Carnot foi originariamente desenvolvido para uma máquina térmica que produza trabalho a partir de calor, como funciona pois uma central termoelétrica. O ciclo pode ser visto na Figura 1.3.

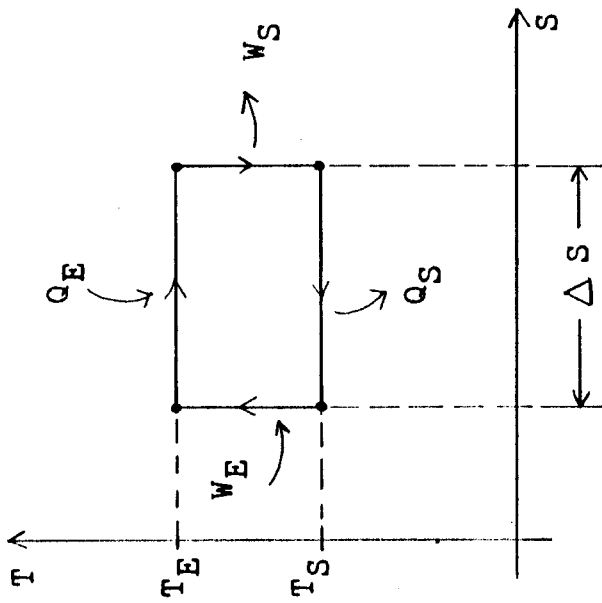
Este ciclo, porém, é o contrário do que é necessário quando se quer transferir o calor às custas de trabalho. Deve-se produzir então, um Ciclo de Carnot reverso, onde todos os processos são em sentido contrário, o que pode ser visto na Figura 1.4.



$$t_Q > t_F$$

- t_Q = Temperatura Quente
- t_F = Temperatura Fria
- Q_N = Calor Natural
- Q_B = Calor Bombeado
- ER = Equipamento de Refrigeração

Fig.1.1.2 - Produção e Conservação de Frio



Q_E = Calor que Entra

Q_S = Calor que Sai

W_E = Trabalho que Entra

W_S = Trabalho que Sai

W_L = Trabalho Líquido

$W_L = W_S - W_E = Q_E - Q_S$

$\eta = \frac{\text{Efeito Util}}{\text{Energia Gasta}}$

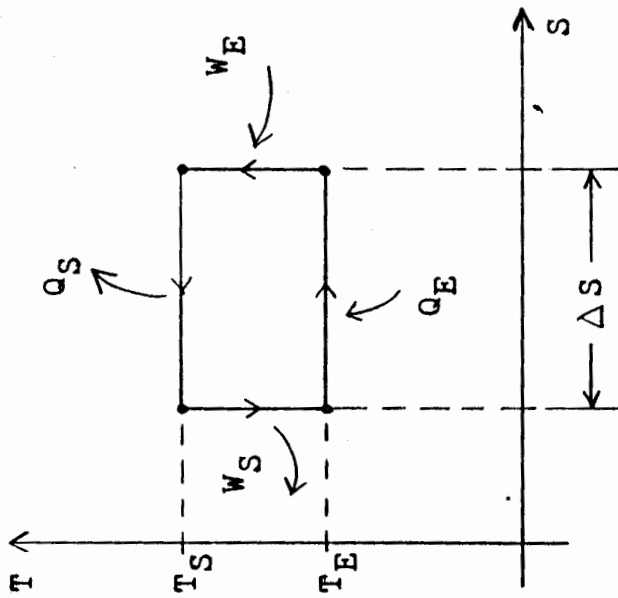
$$\eta_c = \frac{W_L}{Q_E} = \frac{T_E - T_S}{T_E} < 1$$

onde T_E e T_S são temperaturas absolutas,

η = rendimento térmico

η_c = rendimento Carnot

Fig. 1.3 - Ciclo de Carnot para uma Máquina Térmica



$$W_L = W_E - W_S = Q_S - Q_E$$

$$\eta = \frac{\text{Efeito Útil}}{\text{Energia Gasta}}$$

$$\eta_c = \frac{Q_E}{W_L} = \frac{T_E}{T_S - T_E} > 1$$

Fig. 1.4 - Ciclo de Carnot Reverso para uma Máquina de Refrigeração

Note que neste ciclo há absorção de calor Q_e numa temperatura baixa T_E , a dissipação de calor Q_s numa temperatura alta T_S , bombeando-se pois calor de uma temperatura baixa para uma alta.

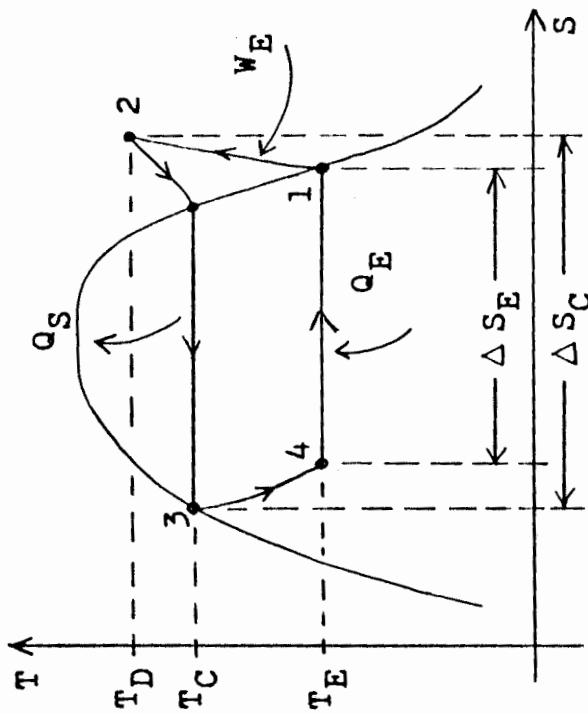
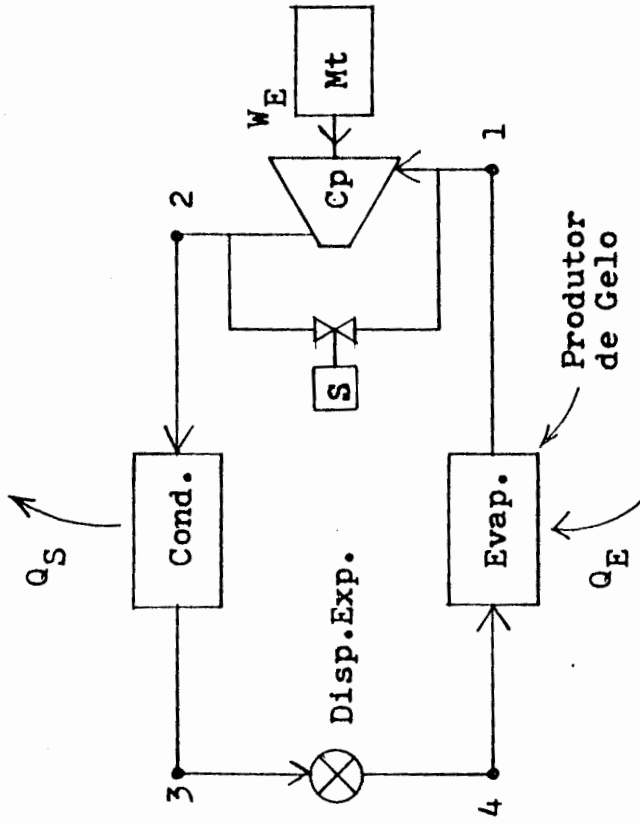
1.5.2 Refrigeração por compressão

Este processo tenta realizar o Ciclo de Carnot de Refrigeração, porém com desvios exigidos pela realidade tecnológica dos processos e equipamentos. Utiliza-se neste ciclo um vapor que apresenta bom rendimento para o processo (o ciclo e equipamentos aparecem na Figura 1.5). Denomina-se ciclo por Compressão por existir, no ciclo, um processo de compressão.

Note que para efetuar este ciclo é necessário o trabalho mecânico (W_E) para acionar o compressor. É no provimento deste trabalho que aparecerão, neste estudo, as energias alternativas.

Estes ciclos têm maiores rendimentos que os ciclos de absorção, que veremos a seguir:

Note também que a entrada de calor causa a evaporação do fluido (processo 4-1, ver Figura 1.5) numa temperatura constante T_E , e que para este processo ser possível é fundamental a obtenção do fluido no ponto 3. Este tipo de processo é contínuo, mas como energias alternativas nem sempre são contínuas, a válvula (S) é fundamental para a ciclagem do compressor C_p na medida do recebimento ou não de energia.



$$\eta = \frac{\text{Efeito Util}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{Q_E}{W_E} > 1$$

Fig. 1.5 - Ciclo de Refrigeração por Compressão e Equipamentos

1.5.3 Refrigeração por absorção

Uma outra forma de produzir frio é a absorção, processo químico no qual um fluido absorve outro, fenômeno existente para alguns pares de fluidos que tem esta afinidade entre si. O processo, simbolicamente, é representado na Figura 1.6.

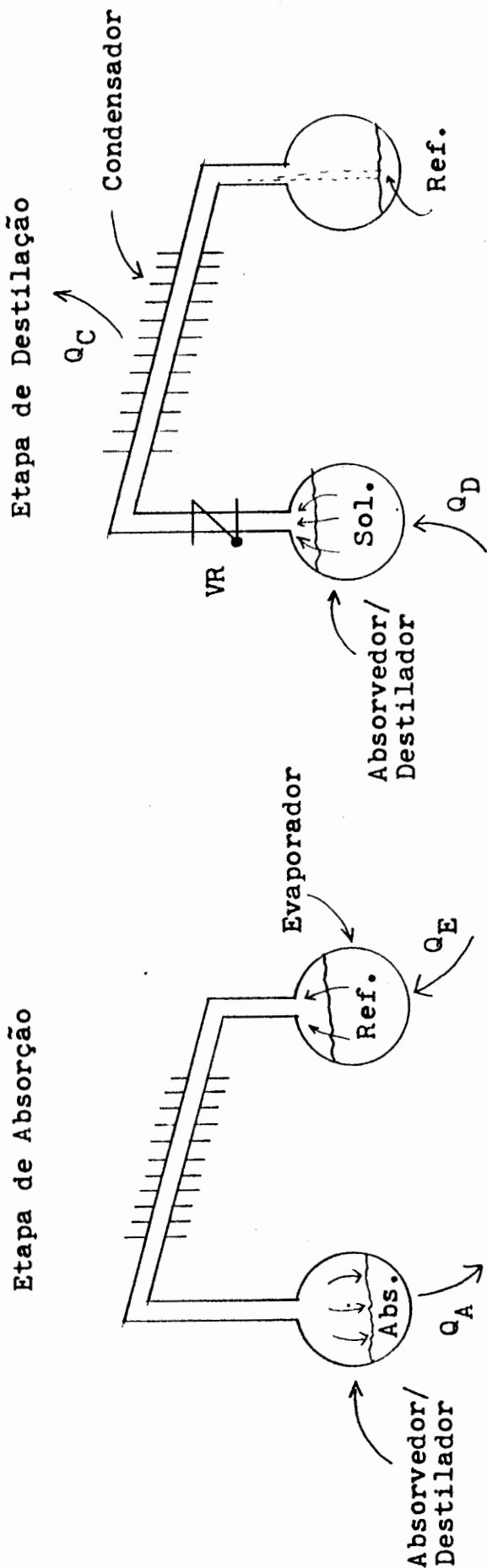
O refrigerante absorvido pelo absorvente, evapora (semelhantemente aos ciclos anteriores) produzindo frio, ou seja, absorvendo o calor Q_E , que é o efeito útil do sistema. Este processo, como representado na Figura 1.6, é intermitente, exigindo duas etapas, uma de absorção e outra de destilação, quando separam-se absorvente e refrigerante, para iniciar o ciclo. É na obtenção de calor Q_D que aparecerão as fontes alternativas de energia.*

Este ciclo pode ser visto como uma montagem em série dos dois Ciclos de Carnot (original e reverso), onde o trabalho líquido W_L produzido pela máquina térmica é a energia externa absorvida pelo ciclo de refrigeração, conforme pode ser visto na Figura 1.7. Isto se confirma pela comparação das Figuras 1.5 e 1.6 e concluindo-se que o compressor C_p da Figura 1.5 foi substituído pelo Absorvente/Destilador da Figura 1.6. (O dispositivo de expansão foi retirado da Figura 1.6 para simplificação, mas será introduzido mais tarde).

Desta análise (ver Figura 1.7) conclui-se que o rendimento de um ciclo de absorção é menor que o rendimento de um ciclo de compressão (ver também Ref. 1 e 2).

Como anteriormente considerado, deve-se levar em conta que as energias alternativas nem sempre são contínuas.

* (O processo, tornado contínuo, é utilizado nas conhecidas geladeiras a gás ou querosene).



Ref. = Fluido Refrigerante

Abs. = Fluido Absorvente

Q_E = Calor que Entra

Q_A = Calor de Absorção

Sol. = Solução Absorvente + Refrigerante

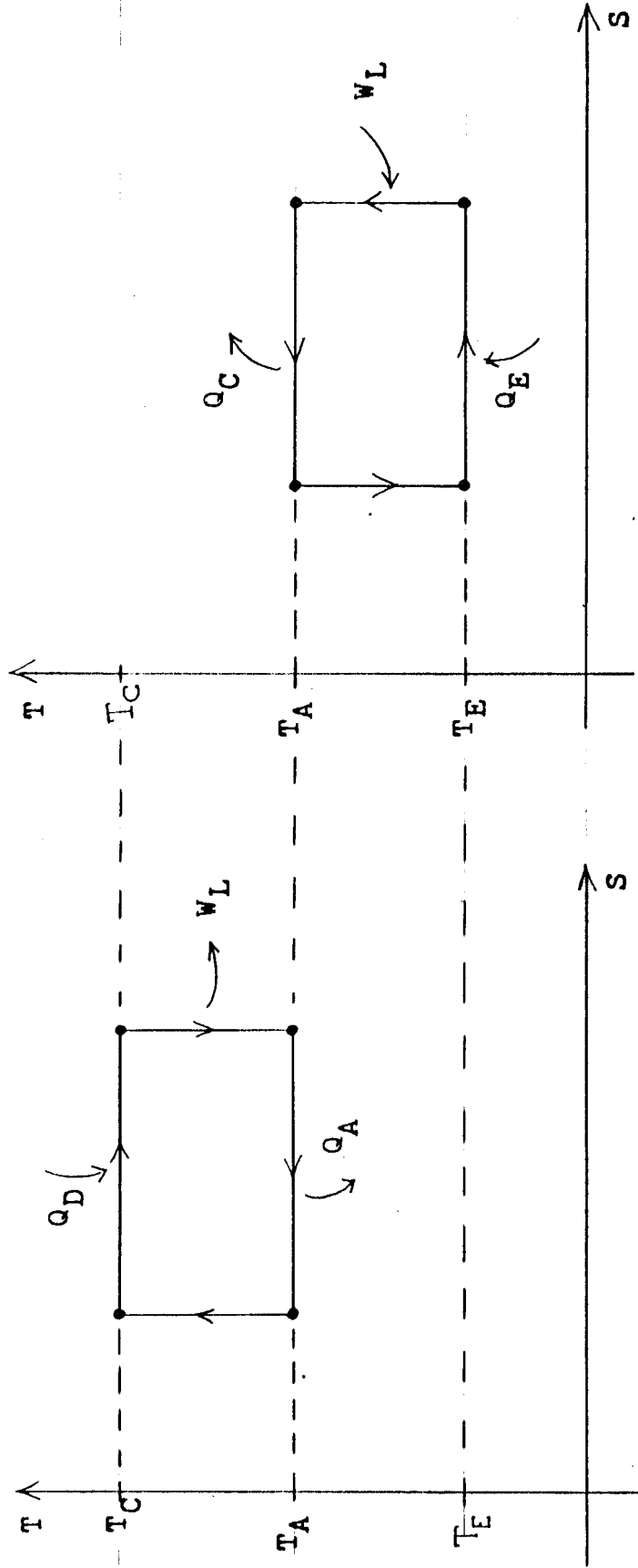
Q_D = Calor de Destilação

Q_C = Calor de Condensação

$$\eta = \frac{\text{Efeito Útil}}{\text{Energia Gasta}} = \frac{Q_E}{Q_D} < 1$$

Fig. 1.6 - Sistema Básico de Refrigeração por Absorção

T_C = Temperatura da Fonte Quente (Caldeira ou Destilador)
 T_A = Temperatura Ambiente Externa
 T_E = Temperatura de Evaporação



$$\eta_{MT} = \frac{T_C - T_A}{T_C} < 1$$

$$\eta_{Ref.} = \frac{T_E}{T_A - T_E} > 1$$

$$\eta_{Abs.} = \eta_{MT} \times \eta_{Ref.} = \frac{T_E(T_C - T_A)}{T_C(T_A - T_E)} \leq 1$$

Fig. 1.7 - Aplicação dos Ciclos de Carnot em uma Máquina de Absorção

Logo, a entrada do calor Q_D pode não ser contínua, e por isso é necessária a válvula VR da Figura 1.6. Mesmo assim, no momento que ocorre Q_D , ocorre destilação e armazena-se energia no refrigerante (Ref. na Fig. 1.6).

1.6 Produção de gelo com energia solar

Neste ítem será feito um breve comentário sobre a produção de gelo com energia solar, já que este assunto será extensamente analisado nos capítulos seguintes.

O uso de energia solar para a produção de gelo é feito com um ciclo de absorção, tendo em vista que a energia solar é inicialmente uma energia radiante, facilmente conversível em energia térmica.

Essa radiação então pode ser usada na forma de calor para efetuar a destilação do refrigerante no ciclo de absorção. Nestes ciclos pode-se utilizar água com absorvente e amônia como o refrigerante que evapora, já que a água tem a propriedade de absorver amônia. Este par é utilizado quando se precisa temperatura de absorção menor que zero graus centígrados, como no caso da fabricação de gelo. Quando se pode trabalhar com temperatura de evaporação acima de zero graus centígrados, como em sistemas de ar condicionado, pode-se utilizar o par Brometo de Litio-Água, onde então a água é o fluído que evapora.

Durante o funcionamento do sistema, a radiação solar é usada para executar a destilação. Como deseja-se trabalhar com temperaturas elevadas para obter maior rendimento, por exemplo a 130°C , usa-se coletores concentradores com espelhos, que concentram toda a radiação recebida num absorvedor com óleo. Um esquema pode ser visto na Figura 1.8.

Cd = Condensador
 DL = Depósito de Líquido
 DE = Dispositivo de Expansão
 Ev = Evaporador
 TR = Torre de Resfriamento

CS = Coletor Solar
 G/A = Gerador/Absorvedor
 CLR = Coluna de Retificação
 CdR = Condensador de Retificação
 RO = Resfriador de Oleo

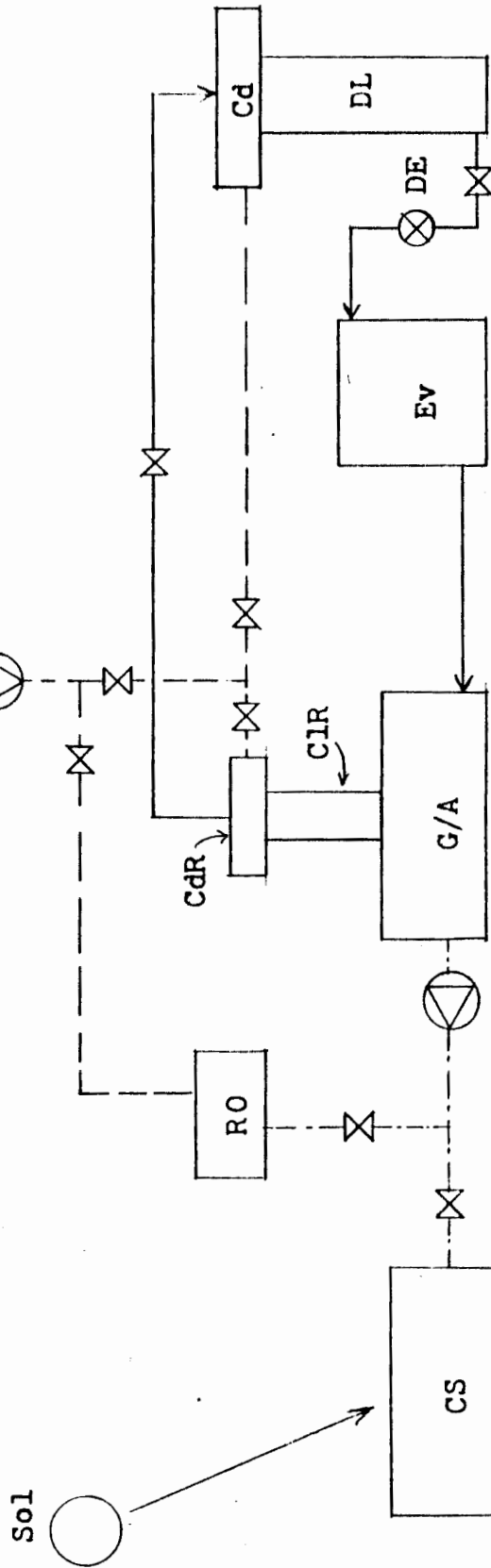


Fig. 1.8 - Refrigeração de Alimentos com Energia Solar

Este tipo de aplicação de energia solar tem a seu favor uma vantagem que algumas outras aplicações solares não tem: a maior necessidade de energia é justamente na estação de maior intensidade de energia solar, o verão. É esta estação que mais se precisa da produção de frio (gelo) e é a estação com maior radiação solar.

Como explicação rápida do funcionamento do sistema, em relação a Figura 1.8, e aprofundada em outros capítulos, pode-se dizer que a radiação do sol, absorvida pelos coletores CS, produz a destilação da amônia no gerador-absorvedor G/A. A amônia condensa então no condensador Cd, é armazenada no depósito de líquido DL, evapora no evaporador Ev, produzindo frio e gelo, sendo absorvida no gerador/absorvedor G/A.

Outra forma de obter refrigeração via energia solar é através da conversão desta diretamente em energia elétrica, usando-se fotocélulas. Neste caso, dispendo de eletricidade, teria vantagem a utilização de um sistema de compressão, apresentado na Figura 1.5.

2 SISTEMA SOLAR USADO COMO FONTE TÉRMICA PARA PRODUÇÃO DE GELO

2.1 Introdução

A produção de gelo com energia solar pode usar um ciclo de refrigeração acionado termicamente, por ser a energia solar facilmente conversível em energia térmica. Este ciclo, como visto no Capítulo 1, deve ser um ciclo de absorção. O sistema então, para a produção de gelo, pode ser dividido em dois grandes sub-sistemas:

a) O sistema solar, responsável pela captação da energia solar e conversão desta energia em calor utilizável, procurando o melhor rendimento e a menor relação custo/benefício;

b) O sistema de refrigeração, responsável pela transformação do calor recebido em produção de frio, procurando o melhor rendimento e a menor relação custo/benefício.

O sistema solar projetado pelo Grupo de Energia Solar/PROMECC/DEMEC/UFRGS, foi construído no Campus do Vale da UFRGS, com recursos da FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos. O projeto do sistema pode ser visto nos desenhos CP-01, 02, 03 e 04 (Cotas 6 a 12) em anexo, a interligação deste com o sistema de refrigeração no desenho CP-04 (Cota 1 a 5), e o sistema de refrigeração no desenho CP-04 (Cotas A/J, 1/5).

Neste capítulo será analisado o projeto do sistema solar e no Capítulo 4, o sistema de refrigeração.

2.2 Coletores solares concentradores

2.2.1 Generalidades

A produção de gelo com refrigeração por absorção, tal como foi projetada, exige, em determinada etapa do processo, temperaturas em torno de 130°C , conforme será visto no Capítulo 4.

Para esta faixa de temperatura recomenda-se o uso de coletores solares concentradores, que podem ser formados por espelhos parabólicos, que concentram a radiação solar sobre um determinado absorvedor. Por isso neste projeto, optou-se por coletores concentradores de parábola composta, conforme pode ser visto nos desenhos em anexo.

Entre os coletores concentradores lineares destacam-se dois tipos principais:

- a) Coletor cilíndrico parabólico
- b) Coletor parabólico composto

O coletor cilíndrico parabólico produz, em um determinado local no espaço, uma concentração da radiação solar por ele recebida e refletida. Esse foco é fixo, e isto exige que a chegada da radiação solar no coletor também seja fixa quanto à sua direção. Esta direção deve ser sempre o mais paralelo possível com o eixo da parábola. Esse constante paralelismo exige que o coletor rastreie constantemente o sol, exigindo um equipamento apropriado. Conseguem-se então, concentrações maiores e como consequência pode-se obter temperaturas mais altas no fluido absorvedor de energia, na faixa de 180°C . Esse tipo de coletor, aplicado na produção de vapor no Grupo de Energia Solar está amplamente discutido na Dissertação de Mestrado de J.L. Salvadoretti^[3].

Quando se precisa de temperaturas mais baixas, em torno de 130°C , pode-se prescindir do sistema de rastreamento utilizando-se coletores parabólicos compostos. Estes coletores

(veja-se discussão na Dissertação de Mestrado de J.L. Pacheco^[4]), tem o eixo de cada ramo da parábola desalinhado em relação ao eixo do coletor de um certo ângulo, o que define o ângulo de aceitação do coletor. O coletor pode ser visto no desenho CP-01 (Cota I8). Quando a radiação solar incidir dentro do ângulo de aceitação do coletor, será refletida para o absorvedor deste coletor, mesmo que a direção da radiação se movimento dentro do ângulo de aceitação. Isto permite que o coletor seja posicionado de tempos em tempos, dependendo do ângulo de aceitação do projeto, neste caso uma vez por dia. A Figura 2.1 mostra a montagem de um coletor CPC truncado*.

2.2.2 Coletores parabólicos compostos

Os coletores utilizados são do tipo truncado*, com as seguintes dimensões, conforme desenho CP-01, (Cota I8):

Abertura	: 422 mm (Nominal)
Foco	: 60 mm (Seção FF, Cotas I6 e O6)
Altura	: 720 mm
Comprimento	: 1477 mm
Largura do espelho	: 750 mm
Diâmetro absorvedor:	∅ 34 x ∅ 42 mm

Quantidades de coletores:

1ª estufa	- 32 coletores (ver desenho CP-03)
2ª estufa	- 32 coletores
Total	- 64 coletores

Área de captação:

1ª estufa	- 19,95 m ² (Nominal 20 m ²)
2ª estufa	- 19,95 m ² (Nominal 20 m ²)
Total	- 39,89 m ² (Nominal 40 m ²)

Quando os coletores são móveis, deve-se optar por uma das seguintes alternativas:

*(Coletor tipo Winston⁵)

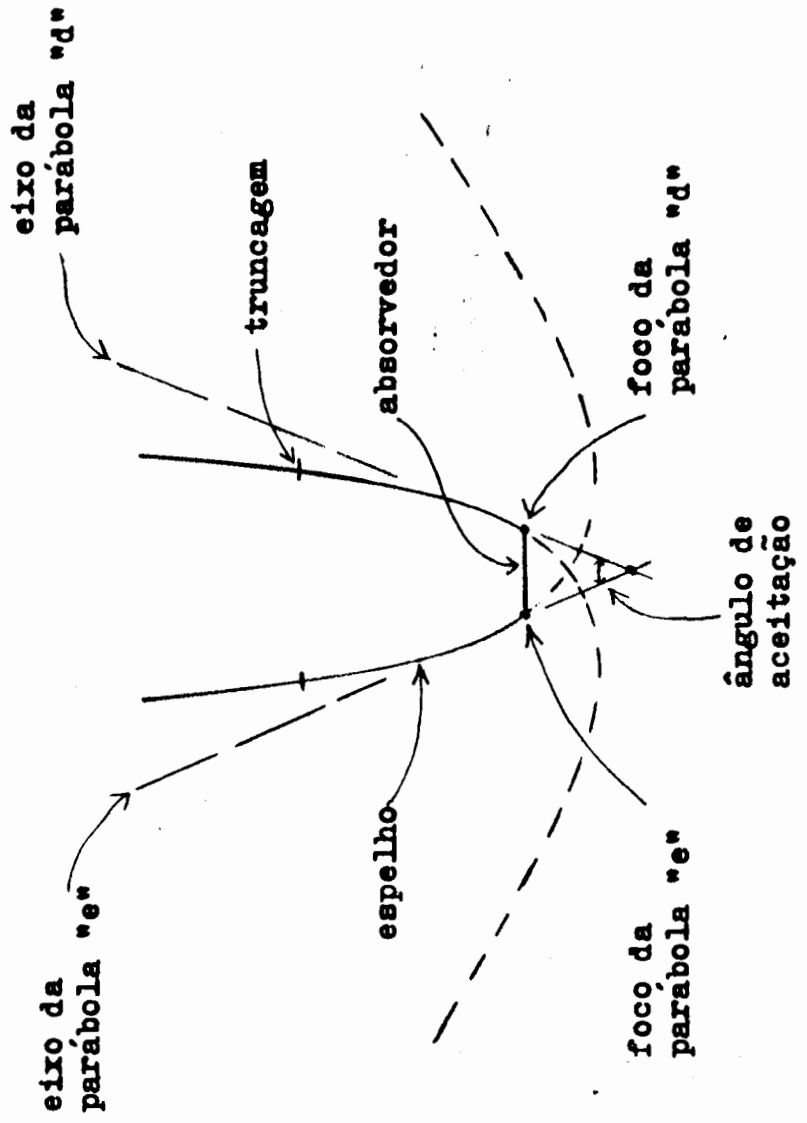


Fig. 2.1 - Montagem de um Coletor Cilindro Parabólico Composto (CPC) Truncado

- a) Absorvedor móvel ou
- b) Absorvedor fixo.

No caso de absorvedor móvel é necessário o uso de mangueiras flexíveis ou juntas rotativas, o que complica e encarece o sistema. Neste projeto, para simplificação, optou-se por coletores que tivessem o absorvedor fixo. Isso obriga o centro de giro a ficar concêntrico com o absorvedor, deslocando o tubo de torque através de uma biela. Com isto o mancal do coletor apresenta contato duplo com superfícies fixas: externamente com seu suporte e internamente com o absorvedor.

Os espelhos refletores são também suportados pelos mancais móveis, tendo os coletores mancais intermediários aéreos, com função somente de suportar os tubos de vidro (coberturas) e os espelhos. Os coletores podem ser vistos nos desenhos CP-01, 02 e 04 (Cota 6 a 12).

Além da solução do absorvedor fixo, outra idéia básica norteou o desenvolvimento do projeto. Os coletores seriam colocados dentro de uma estufa, abrigados do efeito dos ventos. Esta solução diminui a responsabilidade estrutural dos coletores pela inexistência do esforço devido à pressão cinética dos ventos. A estrutura dos coletores tem então, somente função de suportar os seus componentes, resultando em coletores mais leves. Na medida que existam componentes mais leves (superfícies refletoras, por exemplo) pode-se fazer coletores ainda mais leves e baratos. Porém, as superfícies refletoras atualmente produzidas não podem ser enquadradas exatamente como leves.

O Anexo I contém uma descrição de todos os elementos do sistema solar, constando seu número nas plantas, nome, quantidade, dimensões, material e um comentário sobre sua participação no projeto.

Maiores detalhes dos coletores podem ser vistos nos desenhos em anexo.

2.3 Estufa solar

Conforme antes comentado, o projeto foi orientado no sentido de colocar os coletores dentro de uma estufa, e após o dimensionamento dos coletores passou-se a definição da estufa. Esta deveria ter um pequeno fator de sombreamento, ou seja, sua estrutura deveria proporcionar uma pequena área de sombra. Deveria ser de baixo custo e ter uma forma aerodinâmica que minimizasse os efeitos dos ventos. A estufa deveria também, ser definida em conformidade com a movimentação dos coletores, conforme a movimentação solar ao longo do ano. Esta movimentação, determinante nas dimensões finais da estufa, pode ser vista no desenho CP-03, (Cota E10). Neste desenho pode-se ver as quatro filas de coletores, F1, F2, F3 e F4, observando-se que a necessidade de movimentação e insolação dos coletores levou a uma solução onde as filas F3 e F4 ficam em posição mais elevadas que as filas F1 e F2. Além disso a movimentação e insolação dos coletores levou a que, entre as filas de mesma altura inicial, houvesse uma pequena diferença, e portanto, a fila F1 é um pouco mais baixa que a F2, e a F3 um pouco mais baixa que a F4. Esta diferença de altura pode ser vista na diferença de altura dos pilares (Desenho CP-01, Cota G4), 395 mm para a fila F1 e F3 e 435 mm para as F2 e F4. Detalhes das treliças e da fixação dos vidros também podem ser vistos no Desenho CP-01 (Cota C/H-10). A análise do funcionamento térmico dos coletores com a estufa pode ser visto na Dissertação de Mestrado de J.L. Pacheco^[4,21].

A estufa solar tem também outras características:

a) Diminui a energia solar incidente nos coletores, devido à cobertura de vidro;

b) Cria um ambiente em torno dos coletores com maior temperatura em relação ao exterior, o que diminui as perdas térmicas;

c) Diminui o custo de operação com limpeza dos coletores.

2.4 Projeto do sistema solar

A montagem dos coletores foi baseada num tubo que ganhou o nome de tubo de torque, onde foram soldados "braços" que fixam os espelhos refletores. Esta fixação deve ser regulável, para ajuste dos espelhos. Como o centro de giro e o absorvedor são concêntricos, foram colocadas bielas que posicionam o tubo de torque fora do centro de giro.

Dentro da estufa os coletores foram colocados em quatro filas este-oeste, com dois coletores em cada fila, e interligados em série. As duas filas ao norte são mais baixas que as outras, para melhor movimentação dos coletores.

Os espelhos foram fixados nos braços e em canaletas (peça nº 13) próxima dos mancais. Como estas canaletas permitem várias posições para fixação dos espelhos, foi realizado um estudo, e seu resultado está descrito no Capítulo 3.

O absorvedor é um tubo metálico, coberto por outro tubo de vidro. Nas pontas dos absorvedores foram colocadas curvas que permitem a dilatação térmica dos absorvedores.

A estufa foi estruturada em treliças com perfis cantoneiras e ferros redondos, para se ter o menor sombreamento possível.

Maiores detalhes podem ser vistos no Anexo I.

3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ÓTICA DE COLETORES SOLARES CONCENTRADORES PARABÓLICOS COMPOSTOS

3.1 Fatos de interceptação nos coletores parabólicos compostos

Para se alcançar temperaturas na faixa de 100 a 150°C com o uso de energia solar, pode-se utilizar coletores solares concentradores parabólicos compostos. No capítulo anterior e no Anexo I se mostra como foram projetados e construídos os coletores, destinados a aquecerem óleo térmico para funcionamento do ciclo de refrigeração por absorção.

O calor útil Q_u de um coletor concentrador, conforme Duffie e Beckman,^[6] é calculado por:

$$Q_u = A_a F_R \left(S - \frac{A_r U_L}{A_a} (t_i - t_a) \right), \text{ em W, onde:}$$

A_a = área de abertura do coletor, em m^2

F_R = fator de remoção de calor do coletor, adimensional

A_r = área receptora da radiação, m^2

U_L = coeficiente de perdas de calor do coletor, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

t_i = temperatura de entrada do fluido no coletor, $^\circ C$

t_a = temperatura ambiente, $^\circ C$

S = radiação absorvida por área de abertura, W/m^2

Por sua vez:

$$S = G_{b,a} \rho \tau \alpha \gamma, \text{ em } W/m^2, \text{ onde:}$$

$G_{b,a}$ = radiação direta no plano de abertura, W/m^2

ρ = refletância especular dos espelhos, adimensional

τ = transmitância do sistema de cobertura, adimensional

α = absortância do absorvedor, adimensional

γ = fator de interceptação, adimensional

Obs.: O produto $\rho\alpha\gamma$ pode ser definido como eficiência ótica, $(\eta_o)^{61}$.

Uma grande dificuldade que se encontra neste cálculo é encontrar-se o valor de γ para um determinado coletor, e como se poderia otimizar este valor para este mesmo coletor.

Chega-se também a este problema por outro caminho, ou seja, sabe-se que os espelhos para esses coletores são ramos de parábolas, e que os processos de fabricação normalmente existentes não conseguem produzir parábolas perfeitas. Como então, avaliar qualitativa e quantitativamente os espelhos produzidos, ao serem incorporados aos coletores e em funcionamento, e qual o fator de interceptação do conjunto?

Pode-se comparar os espelhos existentes com gabaritos onde esteja definido o perfil da parábola necessária, o que dá uma idéia não quantificada da qualidade do espelho, e pequena indicação do conseguido com estes espelhos.

Uma maneira de se fazer o controle da qualidade dos espelhos, consiste em montar o conjunto formado pelo coletor com seus espelhos, cobertura e absorvedor num aparelho gerador de raios "laser", com conhecimento de ângulo e posição de partida dos raios, fazer-se uma varredura do coletor e verificar-se o recebimento ou não dos raios no absorvedor. Seria necessário ainda, a medição do ângulo de chegada do raio no absorvedor. Esse sistema é de difícil realização experimental dado os recursos disponíveis.

Outra alternativa é simular o conjunto num micro-computador gerando-se uma família de raios, varrendo o coletor, classificar e quantificar o destino de cada um dos raios gerados.

Partindo do segundo raciocínio foi desenvolvido, neste trabalho, o programa SimCol, Simulação de Coletores, cujo de-

seu desenvolvimento será tratado neste capítulo.

Para poder operar o programa precisa-se de um micro-computador simples, que no mínimo possua as seguintes características:

- Capacidade RAM 32 kb;
- Video em alta-resolução;
- Som.

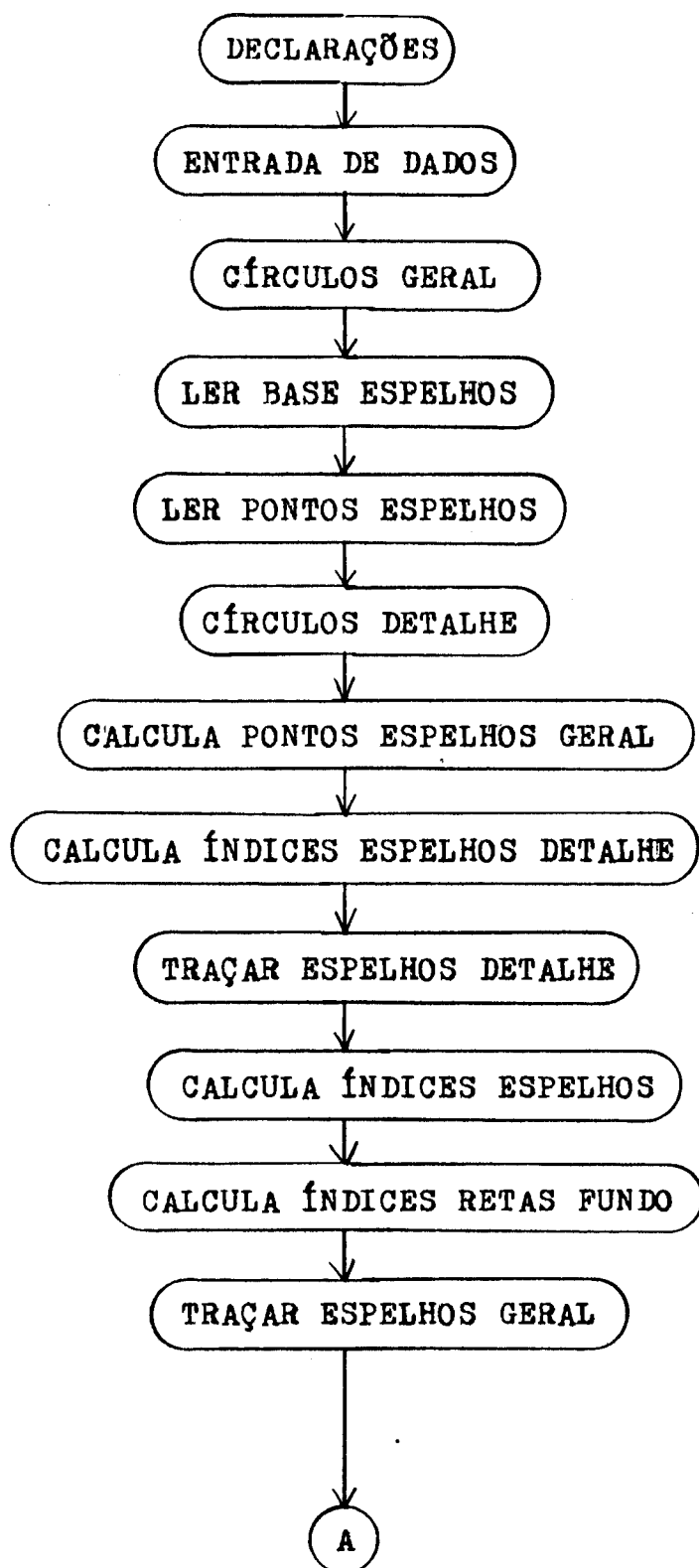
O programa utilizado e as simulações efetuadas serão apresentadas nas seções seguintes.

3.2 Simulação no comportamento de coletores solares concentradores parabólicos compostos sob radiação solar através de micro-computador

O programa desenvolvido pode ser visto como dois programas em um só, pois, ao mesmo tempo que simula numericamente através de cálculos e anotações de resultados em memórias próprias, apresenta em vídeo gráfico com alta resolução e som a evolução dos cálculos e resultados obtidos. Isto permite a utilização do programa de duas formas: pela análise dos resultados quantificados e pela análise visual da evolução do processo. O programa pode então ser classificado como utilização CAD ("Computer Aided Design" ou Projeto Auxiliado por Computador) dos micro-computadores.

O programa pode ser visto no fluxograma, Figura 3.1. Inicia com a entrada de dados, como a posição de fixação inferior dos espelhos, Figura 3.2, e a abertura dos espelhos. Deve ser fornecido também o espaçamento e o ângulo de incidência dos raios de teste.

O programa baseia-se nas dimensões do coletor real. Para isso são fornecidos ao micro, como dados internos do programa, todas as dimensões do coletor. O centro do absorvedor e sua cobertura, bem como seus diâmetros são dados tirados direta-

Fig. 3.1. a - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA SIMCOL

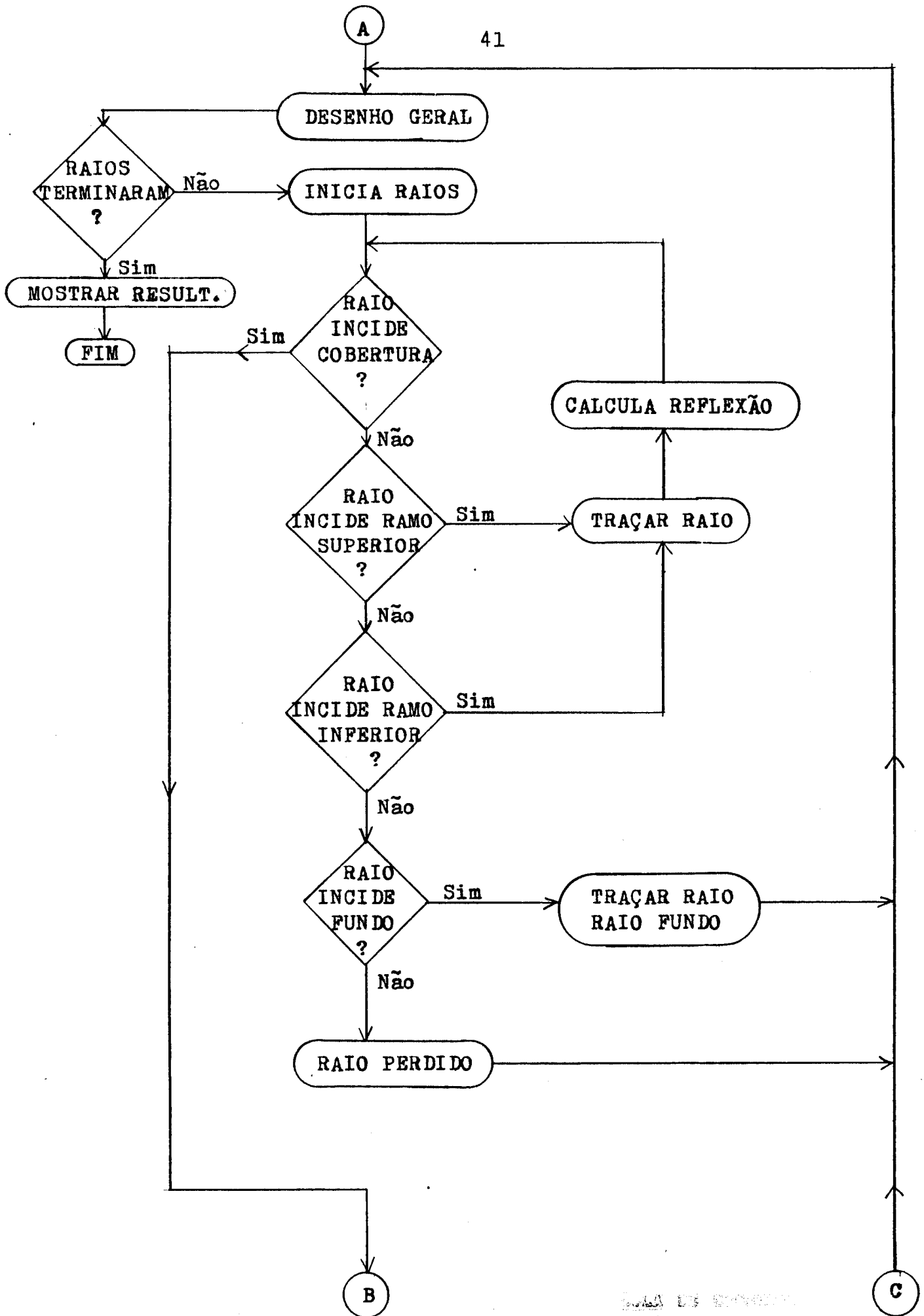


Fig. 3.1.b- Fluxograma do Programa Simcol (Cont.)

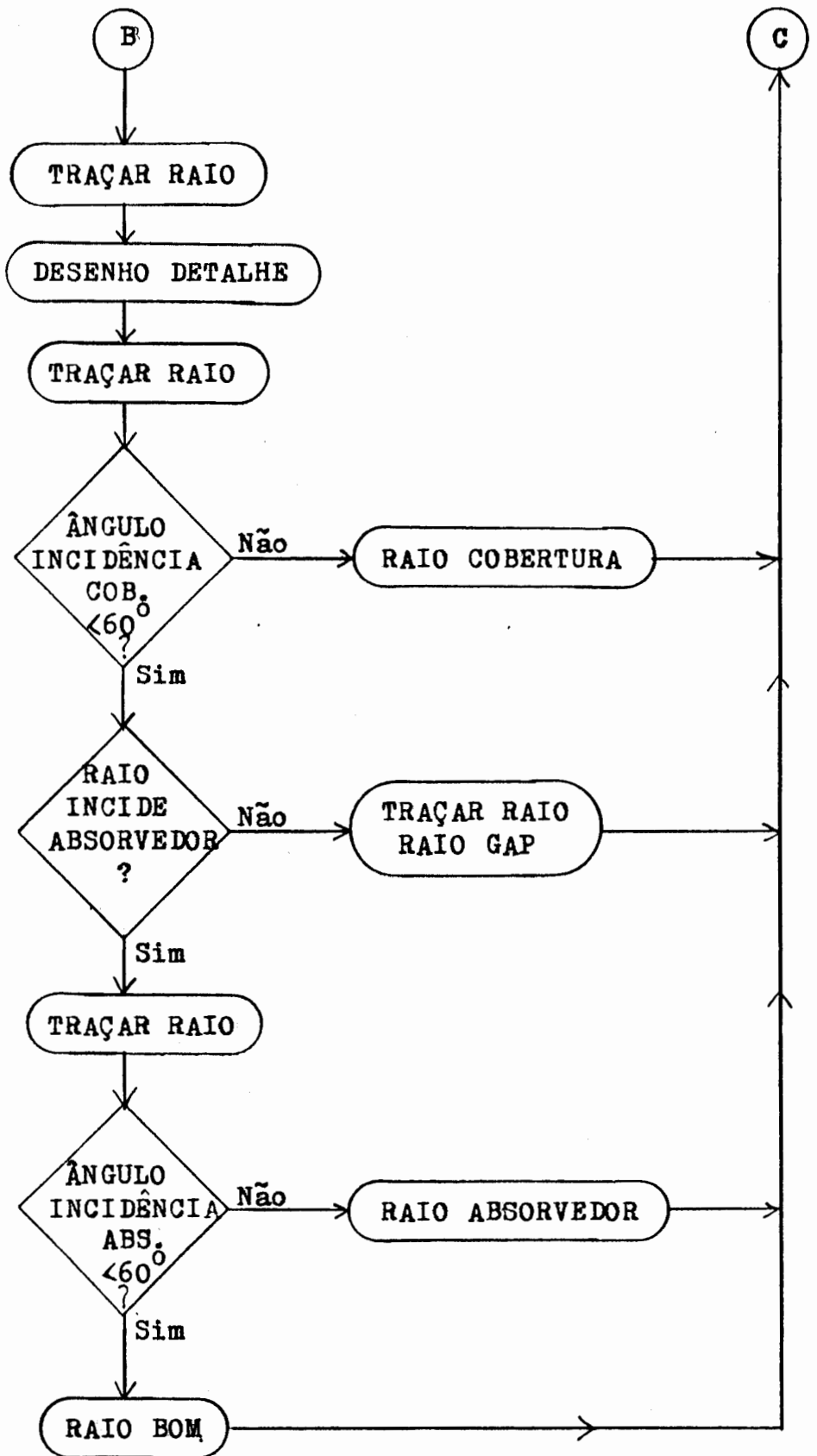
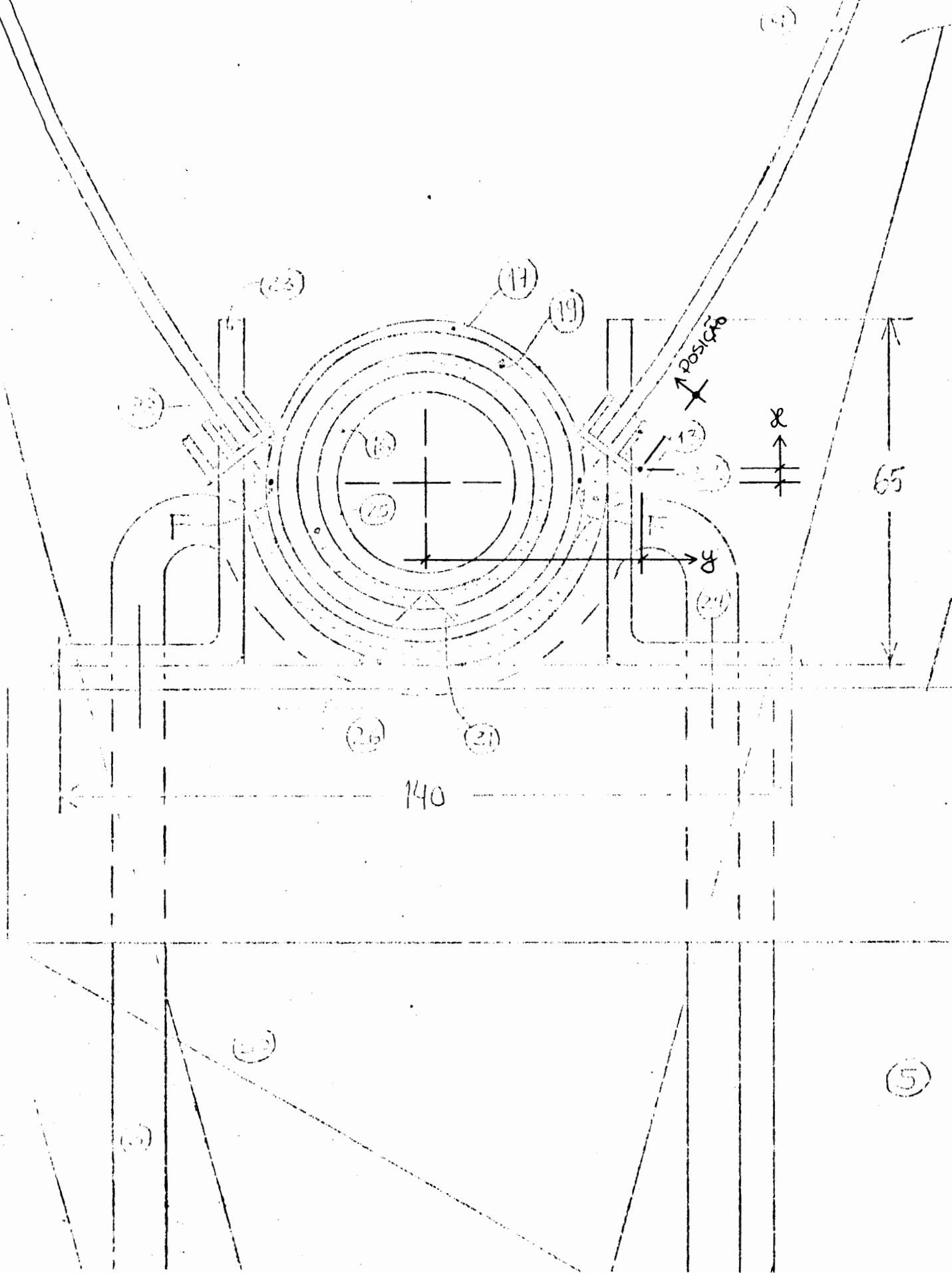


Fig. 3.1.c- Fluxograma do Programa Simcol (Concl.)

Fig. 3.2 - Posicionamento Inicial dos Espelhos



mente dos desenhos referidos no Capítulo 2. As dimensões dos espelhos reais devem ser medidas a partir de uma amostra destes espelhos. O programa atual está baseado nas medidas do espelho de um determinado fabricante, e estas medidas foram feitas em máquinas operatrizes de três eixos (x, y e z) e relógio apalpador, conforme Figura 3.3. Uma forma alternativa de medição está proposta na Figura 3.4.

O programa utiliza dois desenhos do coletor, um com visão de todo o coletor e outro com visão ampliada do conjunto absorvedor/cobertura, desenhos que aparecem alternadamente ao longo das simulações.

As dimensões dos espelhos são fornecidos ao micro como se fossem formados por segmentos de retas, pois foi a única forma encontrada para operacionalizar o programa. Os resultados obtidos não são pois exatos, mas uma grande aproximação da realidade.

O funcionamento do programa, em relação às incidências e reflexões dos raios nos espelhos ou incidências dos raios no absorvedor/cobertura é feito através de cálculo de interseção de retas ou interseção reta/circunferência. Quando ocorre interseção com espelhos, são feitos os cálculos de reflexão, que reorientam o raio. Se houver interseção com o absorvedor ou cobertura, é feito teste do ângulo de incidência entre reta e circunferência.

Os testes feitos, conforme o Fluxograma da Figura 3.1, são os seguintes:

- a) os raios incidem na cobertura?
- b) os raios incidem nos ramos superiores da parábola?
- c) os raios incidem nos ramos inferiores da parábola?
- d) os raios são perdidos pelo fundo (fresta absorvedor/espelhos) do coletor?
- e) os raios incidem na cobertura com que ângulo?

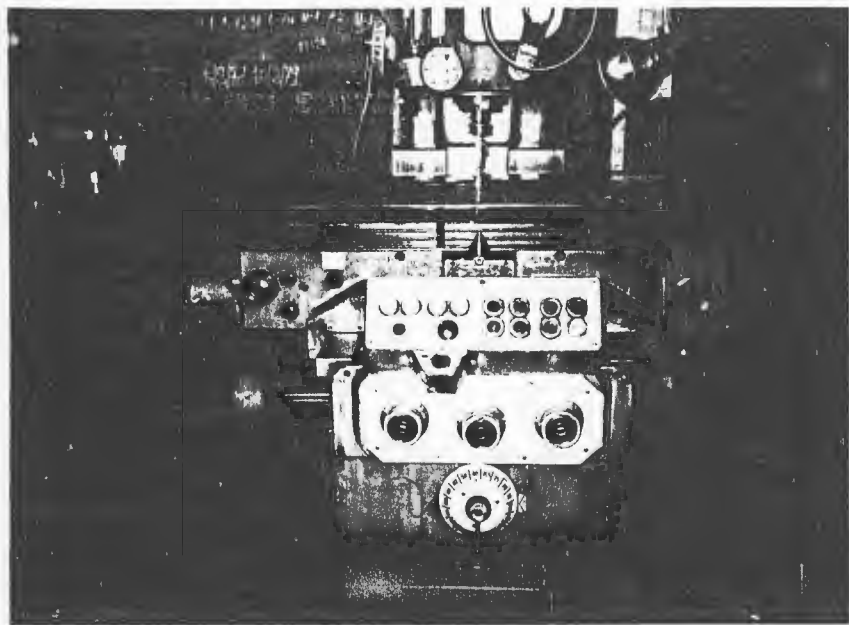
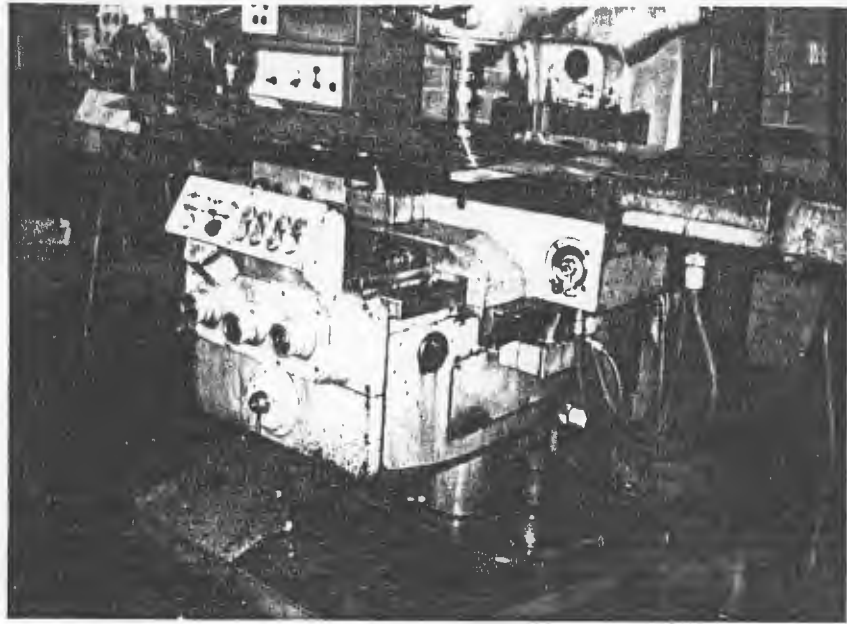
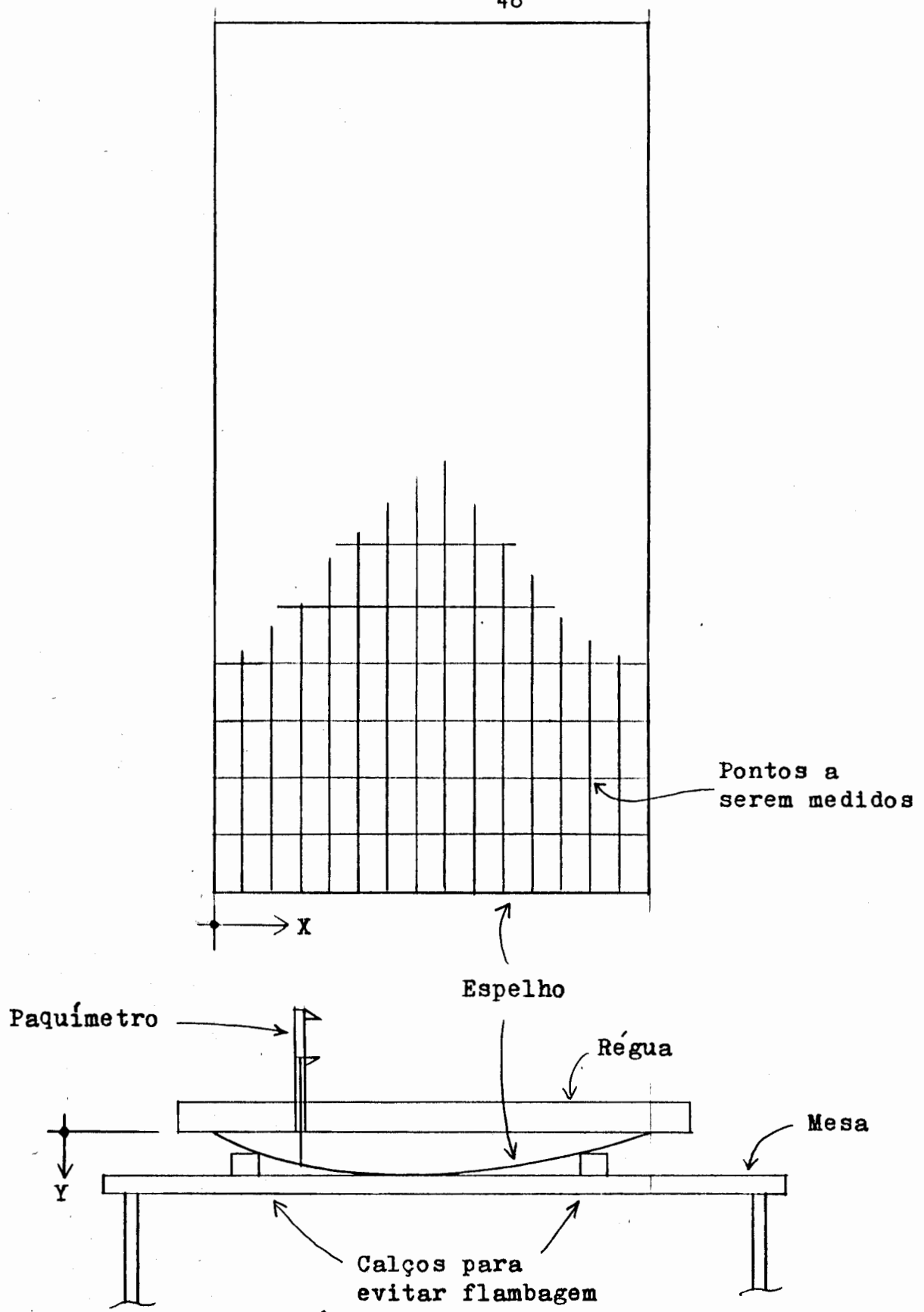


Fig. 3.3 - Medição dos Pontos dos Espelhos



Esc.1/10

Fig. 3.4 - Medição dos Espelhos (Alternativa)

f) os raios incidem no absorvedor?

g) os raios incidem no absorvedor com que ângulo?

De todos os raios que são gerados, o programa como atualmente está considera como aproveitáveis os que chegarem no absorvedor com ângulo menor que 60° ^[6].

No término da simulação (geração dos raios) os resultados finais podem ser vistos de três formas:

- a) resultados quantificados das contagens dos raios;
- b) desenho de todo o coletor com todos os raios;
- c) desenho em detalhe do absorvedor/cobertura com todos os raios.

A resposta a) serve para cálculos subseqüentes, e as respostas b) e c) para a avaliação visual do funcionamento e rendimento, com eventuais problemas e possíveis soluções, do coletor.

As respostas das simulações efetuadas são vistas na seção seguinte, e no Anexo II pode ser encontrada uma listagem completa e comentada do programa SimCol.

3.3 Análise das simulações efetuadas para os coletores parabólicos compostos

O programa SimCol foi utilizado para fazer a simulação dos coletores em diferentes situações de posicionamento dos espelhos e diferentes ângulos de entrada da radiação solar. O posicionamento dos espelhos pode ser modificados com dois parâmetros, conforme já comentado: a base do espelho junto à canaletas-suporte (peça nº 13 dos coletores) e a abertura dos espelhos, através de regulação das "bolachas", ou fixações equivalentes.

A radiação solar deve entrar no coletor dentro do ângulo de aceitação do projeto, no caso mais ou menos $5,5^{\circ}$ em re-

lação ao eixo do coletor.

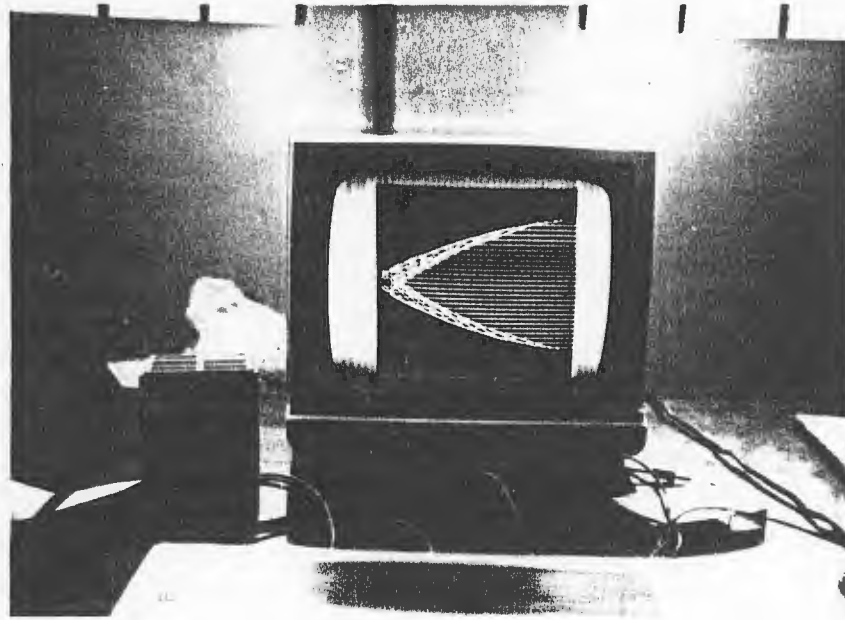
Com o programa SimCol pretende-se o seguinte:

- a) avaliar qualitativa e quantitativamente os espelhos produzidos para os coletores;
- b) determinar o fator de interceptação do conjunto espelhos/cobertura/absorvedor;
- c) otimizar o melhor posicionamento base/abertura espelhos de forma que se consiga o melhor produto fator de interceptação vezes abertura.

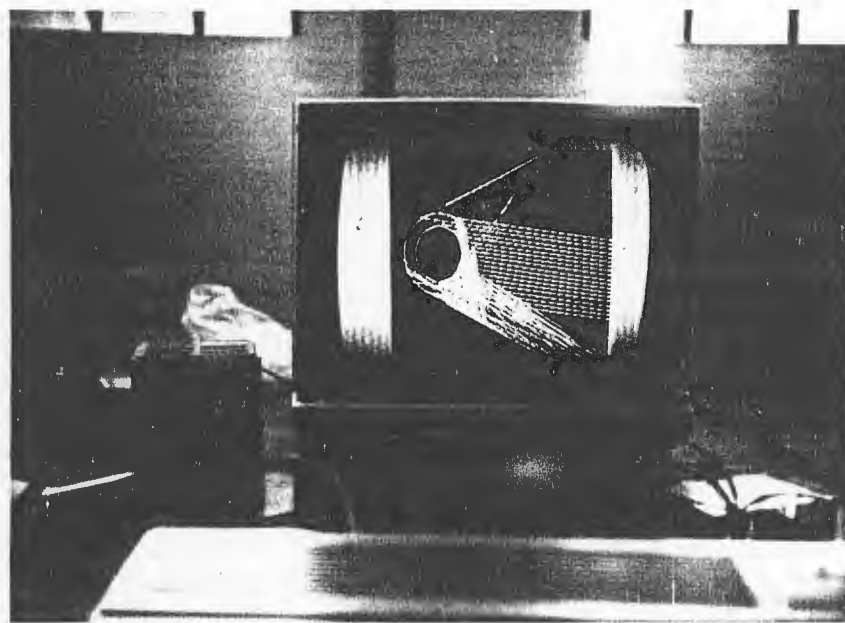
A primeira posição tentada foi a de projeto, ou seja, posição inicial igual a 7 e abertura igual a 422 mm. O espaçamento entre raios foi tomado igual a 1, podendo ser menor para maior precisão e maior para melhor visualização do coletor. O ângulo de entrada dos raios foi feito de 0 a 6°, espaçados de 1 em 1 grau. A Figura 3.5 (fotos) mostra a visão geral do coletor para ângulo de incidência dos raios igual a 0° e espaçamento entre raios igual a 5 (para melhor visualização), e a visão em detalhe do conjunto cobertura/absorvedor, com espaçamento entre raios igual a 1 (para melhor detalhamento). Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3.1, que passaremos a comentar.

O total de raios, para todos os ângulos, é igual a 131, pois este valor depende da abertura dos coletores, e do espaçamento entre raios, constantes para esta simulação.

A linha seguinte são os raios que incidem na cobertura com ângulo maior que 60 graus. Observando-se a Tabela nota-se que estes raios diminuem de número até um ângulo de incidência de 4° e depois aumentam novamente, com valor médio, para esta posição de espelhos igual a 12. Esses dados foram transformados na curva RC da Figura 3.6, que é o gráfico da Tabela 3.1 em análise (note que o total de raios RT é uma constante, igual a 131 raios). A Figura 3.6 tem no eixo horizontal o ângulo de incidência dos raios, e no eixo vertical três escalas: o total de



(a) - Vídeo Geral para Ângulo de Incidência 0°



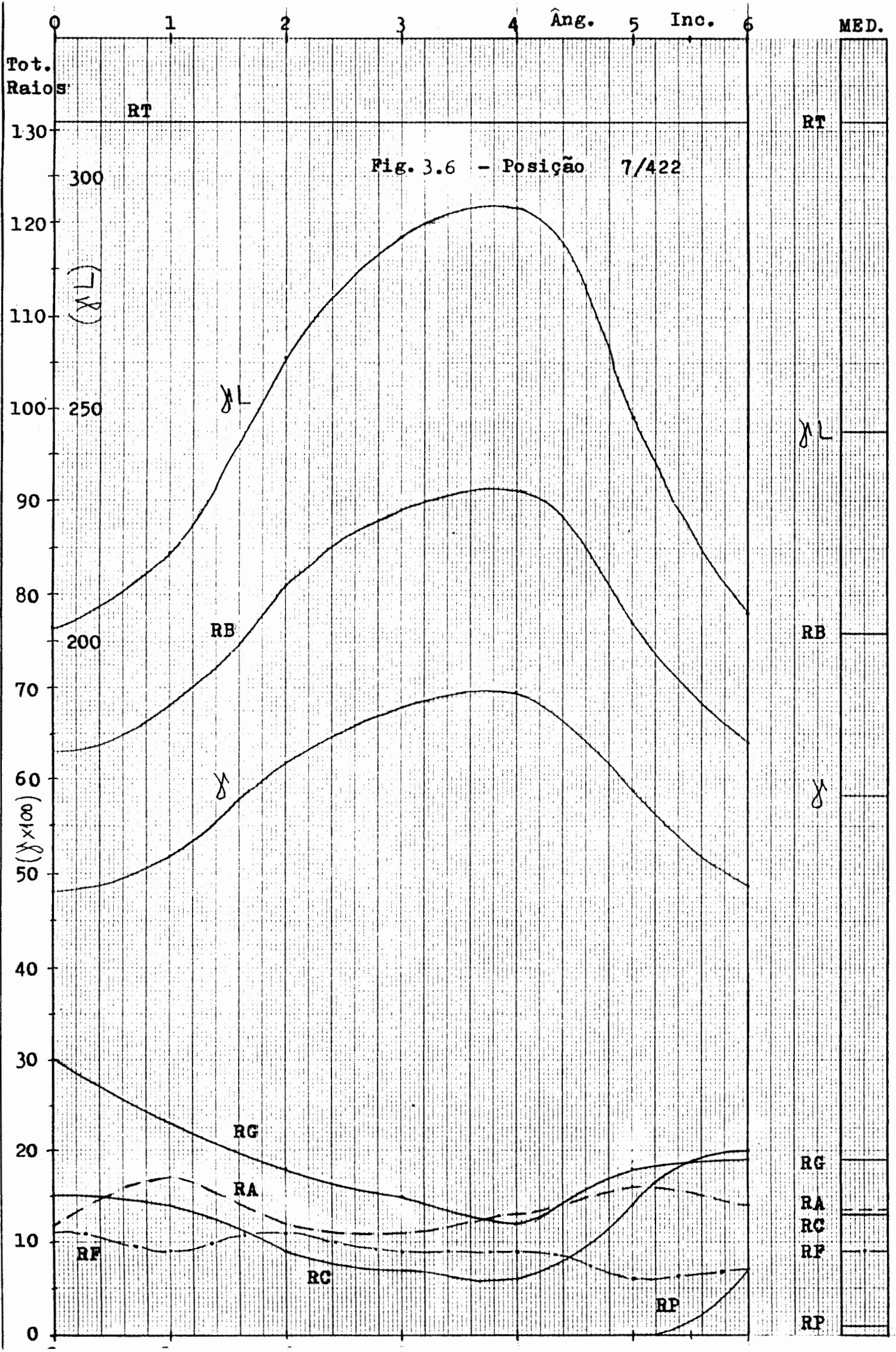
(b) - Vídeo Detalhe para Ângulo de Incidência 5°

Fig. 3.5 - Simulação de Coletores:
Vídeo Geral e Detalhe

Tab. 3.1 - Resultados da Simulação de Coletor com Posição Inicial 7 abertura 422

(Resultados listados conforme ordem apresentada no vídeo do micro-computador)
Med.

Posição Inicial	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Abertura	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422
Espaçamento Raios	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ângulo Incidência	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Total Raios	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131
Raios Cobertura > 60°	15	14	9	7	6	6	6	6	6	6	6	6
Raios "Gap"	30	23	18	15	12	12	12	12	12	12	12	12
Raios Absorvedor > 60°	12	17	12	11	13	16	14	14	14	14	14	14
Raios Bons	63	68	81	89	91	77	64	64	64	64	64	64
Raios Fundo	11	9	11	9	9	6	7	7	7	7	7	7
Raios Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fator χ	0,481	0,519	0,618	0,679	0,695	0,587	0,488	0,581	0,581	0,581	0,581	0,581
Produto χL	203	219	261	287	293	248	206	245	245	245	245	245



raios, de 0 a 130, o fator λ multiplicado por 100, de 0 a 100, e o produto λL , de 200 a 300. Bem à direita, verticalmente, estão colocados os valores médios (de 0 a 6 graus) dos valores tabelados e desenhados. Estes valores médios também aparecem na coluna da direita da Tabela 3.1.

A linha seguinte da Tabela 3.1 apresenta os raios que chegaram na cobertura com ângulo menor que 60 graus, mas não incidiram no absorvedor, deslocando-se pelo "gap", espaço entre a cobertura e o absorvedor. Estes valores, desenhados na Figura 3.6 com a sigla RG, também aparecem com valores que decrescem de ângulo de incidência "0" graus até 4 graus, para após crescerem novamente, com valor médio de 19 raios.

A linha seguinte da Tabela 3.1 mostra os raios que chegaram no absorvedor com ângulo maior que 60 graus. Esses dados estão desenhados na Figura 3.6 com a sigla RA. Esses dados oscilam, com valores que crescem e decrescem alternadamente, tendo valor médio de 13,5 raios.

A próxima linha da Tabela 3.1 traz o número de raios "bons", ou seja, o número de raios que chegam em boas condições no absorvedor. Estes valores estão desenhados na Figura 3.6 com a sigla RB. São valores que crescem com o aumento do ângulo de incidência de 0 até 4 graus, e depois decrescem novamente, com valor médio de 76 raios.

Os próximos valores da tabela são os raios que saem pela linha de fundo, ou seja, pelo espaço entre a base dos espelhos e o tubo de cobertura. Foram desenhados na Figura 3.6 com a sigla RF, e também oscilam, com valores crescendo e decrescendo alternadamente, e com valor médio de 9 raios.

Finalmente, a última classificação de raios são aqueles que após sucessivas reflexões retornam e saem pela entrada do coletor, classificados como raios perdidos, e desenhados com a sigla RP. São raios que somente manifestam-se para valores

grandes do ângulo de incidência, em torno de 5 a 6 graus. Na simulação em análise, aparecem com valor médio de 1 raio.

Temos até aqui então, quantificados o total de raios simulados e os seis destinos possíveis deles tomarem. De todos esses, considera-se como útil somente os raios bons "RB", e calcula-se então o fator de interceptação γ do coletor com o quociente entre o número de raios bons e o número total de raios gerados. Estes valores,, para cada ângulo de incidência, aparecem na linha γ , com valor médio de 0,581. No gráfico nota-se que a curva de γ segue exatamente a curva RB, por serem medidas diretamente relacionadas.

Uma das conclusões importantes deste trabalho é que, melhor que otimizar o fator γ deve-se otimizar o produto γL , pois é possível conseguir-se um alto γ com pequena abertura, o que certamente daria um pequeno produto γL , e sabidamente uma solução não efetiva. A última linha pois da Tabela 3.1 é o produto γL para cada ângulo de incidência, tomando-se o γ anteriormente calculado e o L constante para esta simulação, no caso 422. Estes valores foram desenhados com o símbolo γL , e aparece como uma curva semelhante à RB, por também ser linearmente dependente deste valor. O valor médio encontrado, por ângulo de 0 a 6 graus foi de 245.

Analisando-se estes resultados, independentes de outras simulações, nota-se um baixo valor de γ médio. Duffie e Beckman^[6] reporta-se a valores de 0,80 a 0,95 para CPC.

Pode-se justificar o baixo valor encontrado com os seguintes argumentos:

a) os espelhos em testes (fabricados em vidros 4mm) não apresentaram qualidade ótica suficiente para sua utilização;

b) a posição de projeto (7/422) apresenta baixo γ e baixo produto γL ;

- c) desenho ineficiente do coletor (muitas frestas);
- d) é necessária alguma solução para a parte inferior da cobertura do absorvedor (pintura refletiva).

As simulações seguintes foram então orientadas no sentido de maximizar o produto γL , sendo testadas várias posições, cada posição gerando uma tabela semelhante à Tabela 3.1.

Conforme visto anteriormente, a radiação absorvida é calculada por:

$$S = G_{b,a} \rho \tau \alpha \gamma$$

É importante resalvar que a otimização de γL não coincide necessariamente com a melhor posição para $G_{b,a}$, não implicando em consequência numa otimização de radiação absorvida.

Os resultados das simulações aparecem na Tabela 3.2 constando no eixo horizontal a posição inicial e no eixo vertical a abertura do coletor.

Na análise desta Tabela, no tocante às posições testadas tem-se os seguintes resultados:

- a) 7 graus/posição (0 a 6°)
- b) média de 131 raios/grau
- c) média de 917 raios/posição
- d) média de 7 min/grau
- e) média de 49 min/posição
- f) 22 posições simuladas
- g) 20.174 raios gerados.

Observando-se os valores de tabela, nota-se, também que a melhor posição encontrada (melhor γL) é posição inicial igual a 5 e abertura igual a 420, com produto γL igual a 252. Os resultados completos, semelhantes a Tabela 3.1, são apresen-

Tab. 3.2 - Resultados de Simulação do Coletor para Várias Posições Iniciais e Várias Aberturas
 Produto γL (Médio)

		Posição Inicial						
		4	5	6	7	8	9	
416					245			
418			251	250	250	245		
420		249	252	252	250	249	246	
422		248	251	248	245	249		
424					247	247		
426					250			
428		251			242		246	

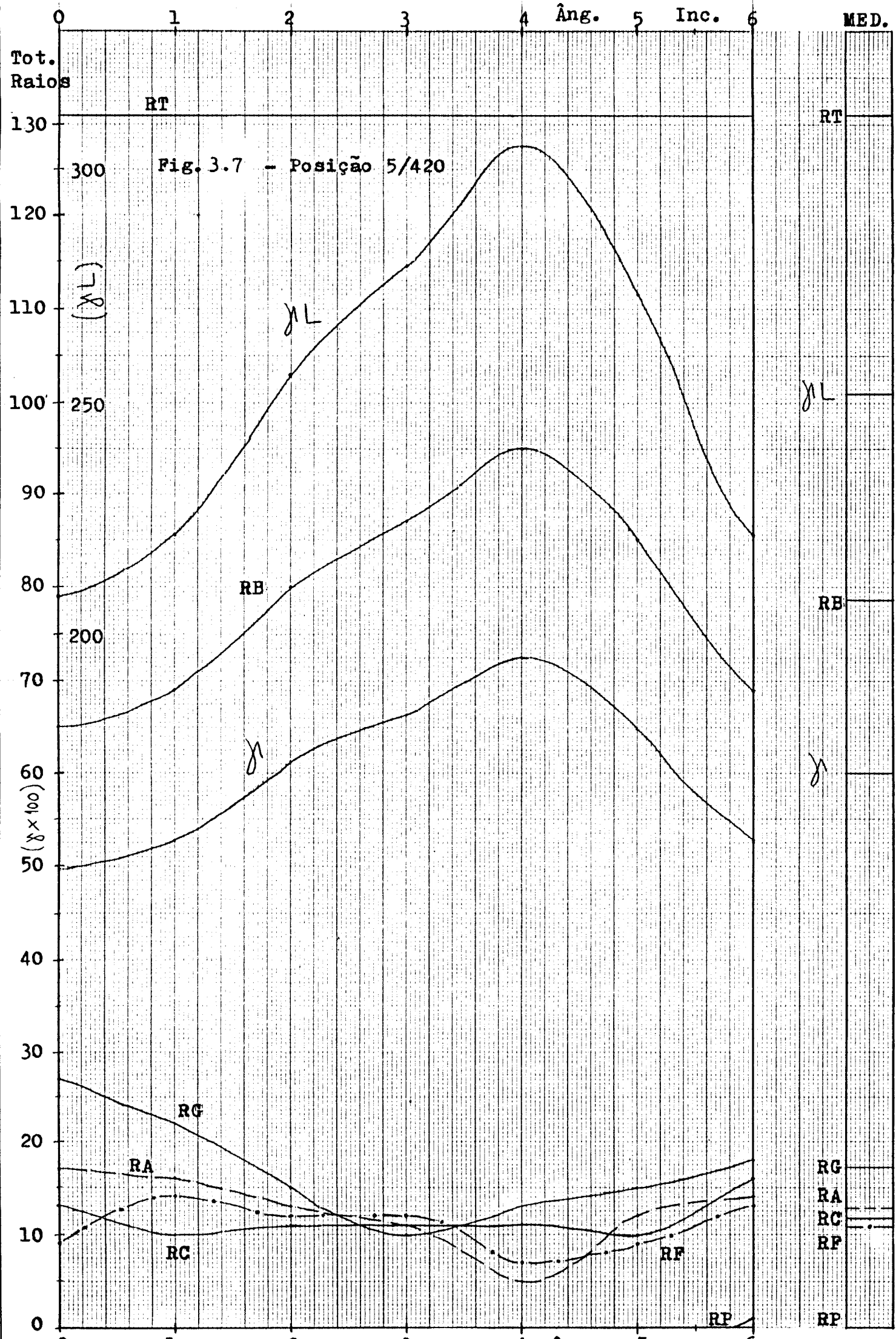
Abertura

tados na Tabela 3.3, e o desenho dos resultados na Figura 3.7. Superpondo-se as duas Figuras 3.6 e 3.7, nota-se uma vantagem da posição 5/420 entre ângulo de incidência $3,5^{\circ}$ a 6° , com diminuição dos raios não efetivos e aumento dos raios efetivos.

Tab.3.3 - Resultados da Simulação de Coletor com Posição Inicial 5 e Abertura 420

(Resultados listados conforme ordem apresentada no vídeo do micro-computador)

	MED.									
	5	420	5	420	5	420	5	420	5	420
Posição Inicial	5		5		5		5		5	
Abertura		420		420		420		420		420
Espaçamento Raios	1		1		1		1		1	
Ângulo Incidência	0		1	2	3	4	5	6	3	
Total Raios	131		131	131	131	131	131	131	131	131
Raios Cobertura > 60º	13		10	11	11	11	10	16	11,7	
Raios "Gap"	27		22	15	10	13	15	18	17,1	
Raios Absorvedor > 60º	17		16	13	11	5	12	14	12,6	
Raios Bons	65		69	80	87	95	85	69	78,6	
Raios Fundo	9		14	12	12	7	9	13	10,9	
Raios Perdidos	0		0	0	0	0	0	1	0,14	
Fator λ	0,496		0,527	0,611	0,664	0,725	0,649	0,527	0,600	
Produto λL	208		221	256	279	305	273	221	252	



Tot. Raios

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

(x100)

300

250

200

100

50

0

RT

Fig. 3.7 - Posição 5/420

RL

RB

R

RG

RA

RC

RF

RP

RT

RL

RB

R

RG

RA

RC

RF

RP

MED.

4 TEORIA E MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS DA REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

4.1 Teoria do ciclo de refrigeração por absorção

Serão analisados os quatro processos do ciclo de refrigeração com amônia (Evaporação, Compressão, Condensação e Expansão), e os quatro processos do ciclo da solução (Absorção, Aquecimento, Destilação e Resfriamento).

4.1.1 Evaporação da amônia

Como já visto no Capítulo 1, o Ciclo de Carnot adaptado a uma máquina de refrigeração real faz a absorção de calor ao colocar um fluido em baixa temperatura em contato com o meio a ser refrigerado. Este fluido deve então absorver calor (produzir frio) sem no entanto se aquecer (à temperatura constante). Isto só é possível numa mudança de fase, como a de evaporação do fluido.

O ciclo por absorção utilizando o par água-amônia faz isto colocando amônia líquida saturada em baixa pressão em contato com o meio a ser refrigerado. Como esta amônia deve absorver calor do meio frio, a sua temperatura deve ser menor que a deste meio. Como a amônia é vapor, obedece à paridade entre temperatura e pressão nas fases saturadas e suas misturas (título entre zero e um), logo, a pressão amônia está definida por este relacionamento de temperaturas, entre o meio a ser refrigerado e o fluido refrigerante.

No ciclo de refrigeração, a amônia colocada em contato com o meio a ser refrigerado está representado pelo ponto 4 da Figura 4.1, Diagrama Pressão-Entalpia da Amônia (ver também Figura 4.3). Este ponto 4 é uma mistura de líquido saturado, ponto 4', e vapor saturado, ponto 1, na proporção de seu título que é maior que zero. A razão do título ser maior que zero será vista

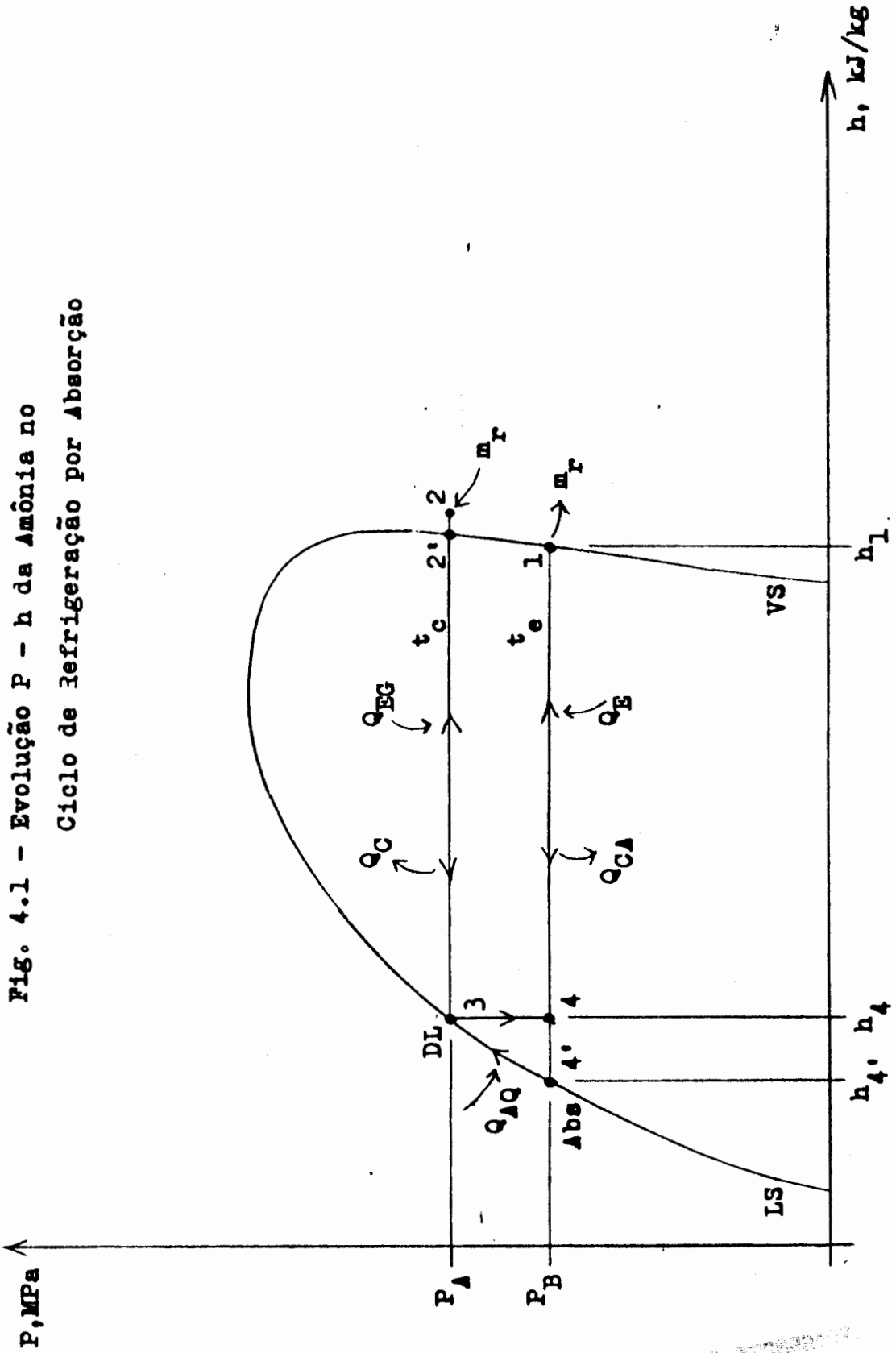


Fig. 4.1 - Evolução P - h da Amônia no Ciclo de Refrigeração por Absorção

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

mais tarde. Este ponto 4 apresenta baixa pressão (P_B) e baixa temperatura (t_E) e ao ser colocado em contato com o meio a ser refrigerado, a fração 4' constituinte de 4 evapora até 1, sofrendo variações de entalpia $\Delta h = h_1 - h_{4'}$, igual a quantidade de calor " Q_E " absorvido, que é "frio" produzido. Para o ciclo funcionar na medida em que o fluido "1" é gerado, deve ser absorvido por algum outro processo, e retirado do contato com a fonte fria, o que é feito pela absorção. Esta retirada de amônia está representada na Figura 4.1 com o símbolo " m_r ", e uma seta em sentido de saída, que significa o ponto de absorção da amônia. Também como visto no Capítulo 1, um ciclo de refrigeração após absorver calor de um meio em baixa temperatura deve dissipar este calor para outro meio em alta temperatura, como sucede no ciclo de Carnot para refrigeração.

4.1.2 Compressão da amônia

O ciclo em análise deve efetuar o mesmo, e o calor incorporado na entalpia do ponto "1" deve ser dissipado para o meio quente. Isto só é conseguido se a amônia for colocada em contato com o meio quente numa temperatura maior que este meio. A entrega de calor deverá ser, como no ciclo de Carnot, com o fluido em temperatura constante, e isso só é conseguido em processo de condensação. Como a temperatura deve ser alta, obrigatoriamente também deve ser alta a pressão do fluido. Em conclusão, o fluido evaporado deve ser retirado do contato com a fonte fria e ser comprimido. Isto pode ser conseguido, como visto no Capítulo 1, por simples compressão mecânica do vapor "1" ou por compressão no ciclo de absorção.

4.1.3 Absorção pela solução

A compressão no ciclo de absorção é feita em duas etapas, a primeira por absorção das moléculas de amônia pelas moléculas de água, e a segunda por aquecimento da solução água/amônia. A absorção é conseguida graças à forte afinidade que e-

xiste entre o vapor de amônia (NH_3) e a água líquida (H_2O), sendo que a água absorve o vapor de amônia que estiver em contato com ela. As razões de existir esta afinidade, e conseqüente absorção são as seguintes^[2]:

- a) formação de pontes de hidrogênio entre as moléculas do absorvente e refrigerante;
- b) as moléculas são pequenas;
- c) as moléculas do par contém átomos altamente eletro-negativos como nitrogênio e oxigênio;
- d) as duas moléculas constituintes do par contém hidrogênio.

A afinidade é indicada pelo grande desvio negativo da Lei Raoult, pois o absorvente diminui a pressão parcial do refrigerante mais do que seria provável, considerando-se a interface entre duas soluções ideais. A Lei de Raoult é a seguinte^[8]:

$$P_{A,i} = X_A P_A \text{ , onde:}$$

$P_{A,i}$ = pressão parcial de equilíbrio do componente A na fase vapor sobre a fase líquida

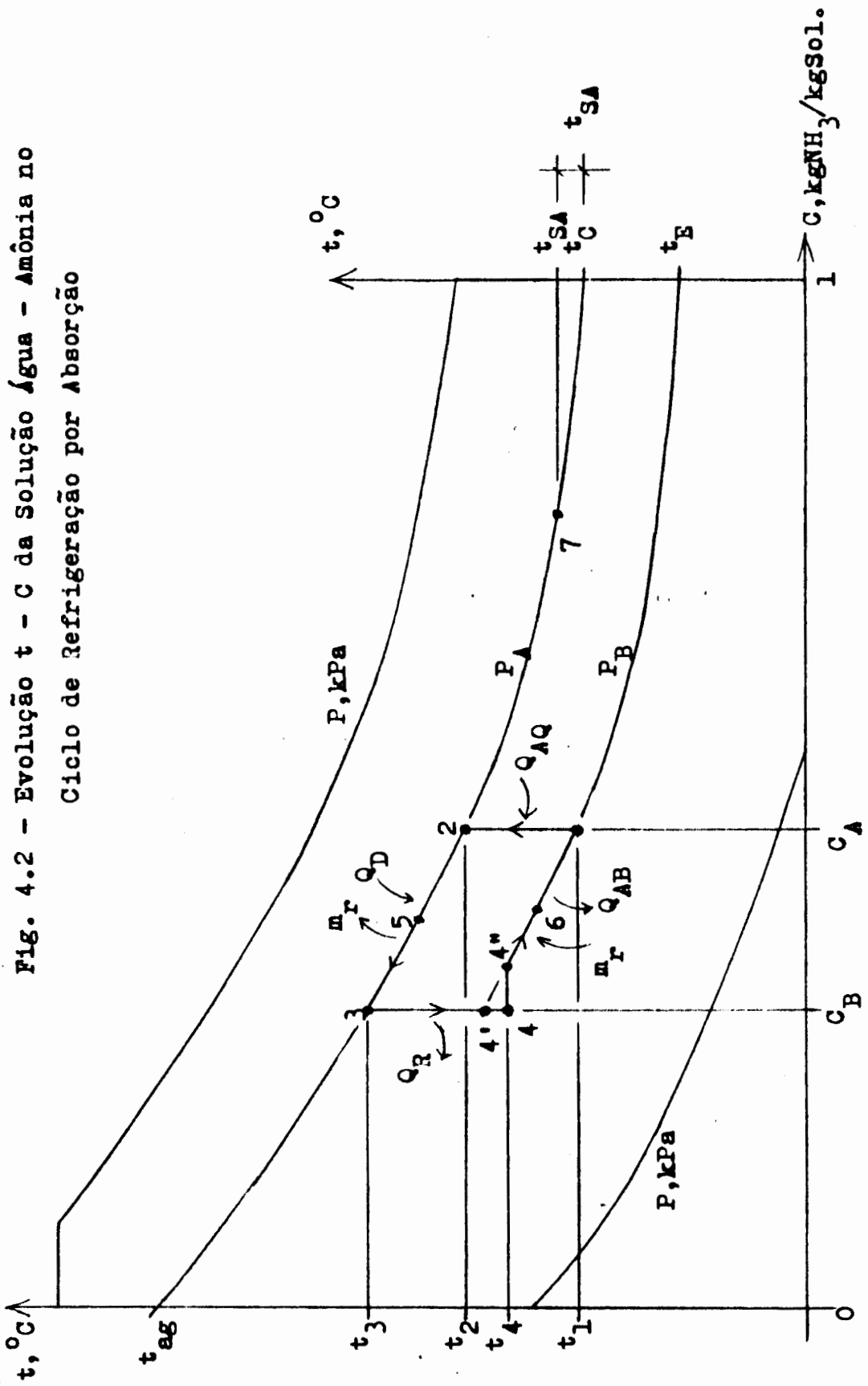
X_A = fração molar de A na fase líquida

P_A = pressão de vapor do componente A puro na temperatura de equilíbrio.

Por outro lado, é importante salientar que se esta afinidade for muito grande, irá consumir muita energia quando da dissociação do par absorvente/refrigerante.

A etapa de absorção pode ser vista no processo 4-1 da Figura 4.2, Diagrama da Solução Água/Amônia em eixos Temperatura-Concentração (ver também Figura 4.4). A absorção da amônia está representada pelo símbolo " m_r " (massa refrigerante) entrando no ciclo. (Ver também ref. 9).

Teoricamente o processo deveria iniciar em 4', mas



por segurança, normalmente, este ponto é sub-resfriado até 4 para compensar o aumento de pressão existente no início da absorção. Ao ocorrer a entrada de massa de amônia " m_r ", a concentração da solução, que expressa quantos quilos de amônia se tem por quilo de solução, aumenta, indo desde a concentração baixa C_B do ponto 4 até a concentração alta C_A do ponto "1". O processo ocorre isobaricamente na pressão baixa P_B (salvo 4-4" que é isotérmico). Esta pressão deve ser tal que corresponda a uma temperatura de evaporação (processo 4'-1, Figura 4.1), da amônia mais baixa que a temperatura do meio do qual se quer retirar calor. Esta temperatura já apareceu na Figura 4.1, e também aparece nesta Figura 4.2, prolongando-se a curva P_B até a concentração 1 (amônia pura) e encontrando-se " t_E ", temperatura de evaporação da amônia. O processo 4-1, Figura 4.2 é exotérmico, ou seja, libera calor de absorção, Q_{AB} na Figura 4.2. Este calor existe devido ao somatório dos seguintes calores:

a) Calor de condensação:

A amônia absorvida como vapor saturado, (ponto 1) Figura 4.1, condensa, indo de vapor (ponto 1) até líquido saturado (ponto 4'), pois fica absorvida na forma de líquido, liberando o calor de condensação, abreviado " Q_{CA} ", calor de condensação no absorvedor.

b) Calor de diluição:

Quando duas moléculas se unem, liberam calor, pois posicionam-se num nível mais baixo de energia do que quando estavam independentes uma da outra;

c) Calor de resfriamento:

A solução, na medida da evolução da absorção, deve ter uma temperatura diminuída (de t_4 para t_1 , Figura 4.2) para permanecer constante a pressão P_B .

Como o calor de absorção Q_{AB} deve ser entregue ao meio exterior (meio quente), a temperatura final do processo 4-1 (t_1) deve ser maior que a temperatura do meio quente de um certo

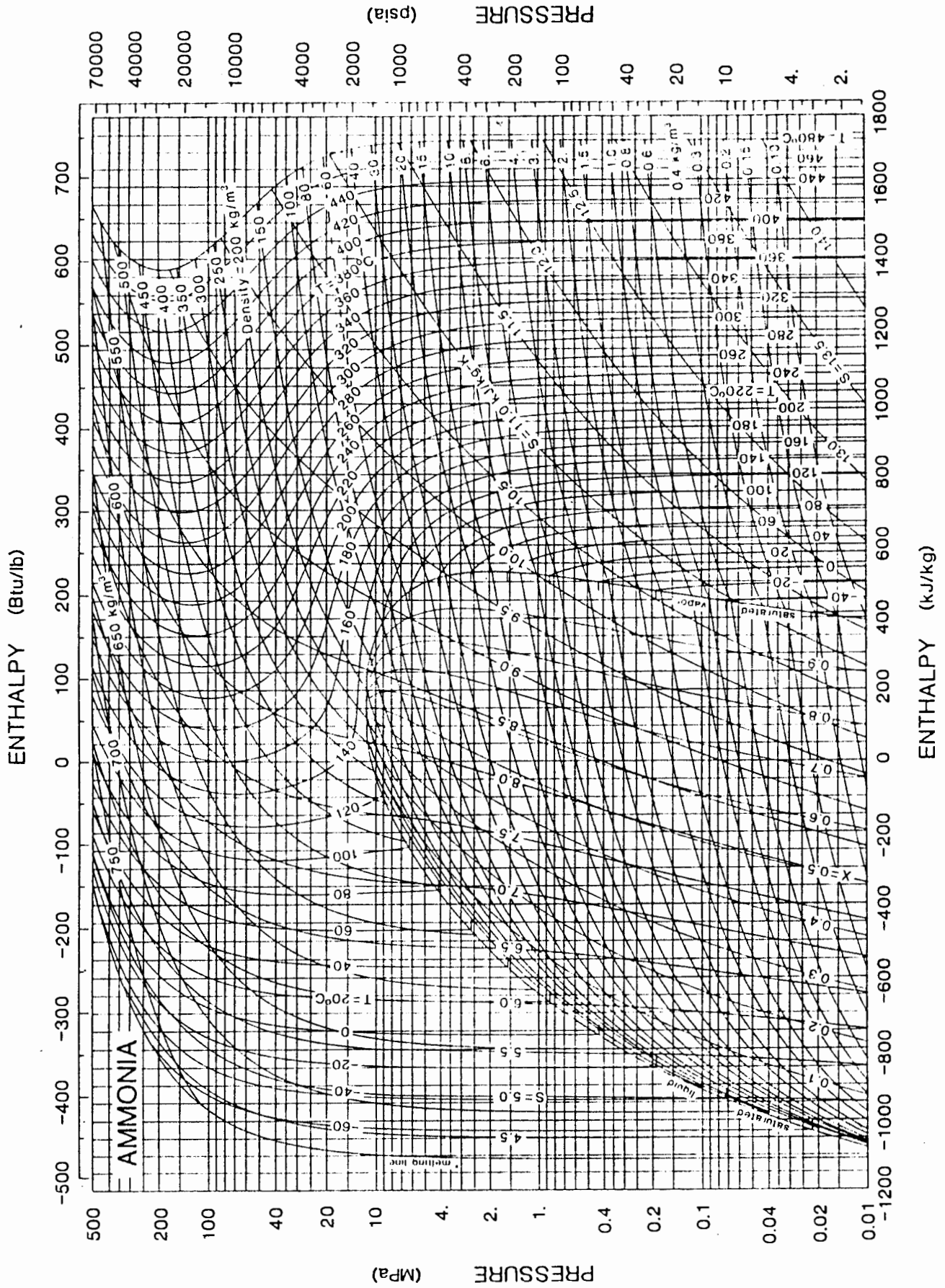
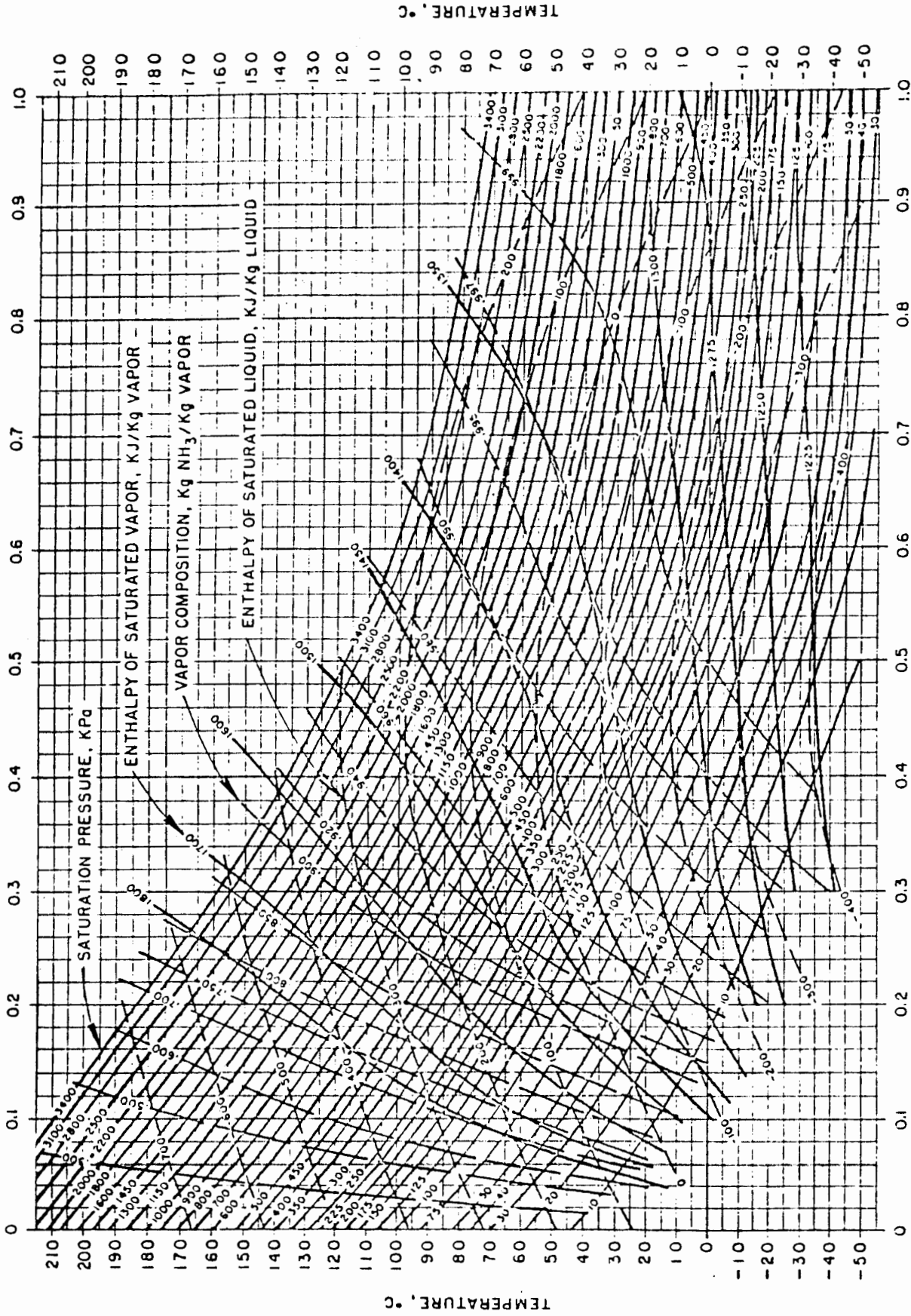


Fig.4.3 Diagrama Pressão-Entalpia do Refrigerante 717(2)



AMMONIA IN SATURATED LIQUID - Kg NH₃/Kg LIQUID

Fig.4.4 Diagrama Temperatura-Concentração da Solução Água-Amônia (2)

valor definido pelo trocador de calor que dissipa Q_{AB} . Neste ponto aparece um aspecto interessante do par absorvente/refrigerante: a pressão de evaporação/absorção deve produzir uma temperatura baixa o suficiente para, na evaporação, absorver calor do meio frio, e alta o suficiente, na absorção, para dissipar calor para o meio quente. Ou seja, " t_E ", Figura 4.2, deve ser menos que a temperatura do meio frio, e " t_1 " maior que o meio quente, assim então a temperatura do meio frio e do meio quente devem estar entre " t_E " e " t_1 ". Podemos considerar " t_E " (e " P_B ") constantes e " t_1 " variando com as condições externas (do meio quente). No processo de absorção como acima citado, ocorre um processo de condensação da amônia, ou uma compressão (diminuição do volume específico) bastante grande, que é a primeira etapa de compressão do ciclo de absorção e que será dimensionado mais tarde.

4.1.4 Aquecimento da solução

Retornando aos princípios básicos do ciclo, este deve dissipar o calor absorvido em baixa temperatura para um meio em alta temperatura, e isto é conseguido com a condensação da amônia, numa pressão alta. Por outro ponto de vista tem-se que separar a amônia da solução após a absorção, para que se possa iniciar novamente a produção do frio. Estes dois processos são conseguidos com processos de aquecimento e destilação da solução.

O processo de aquecimento pode ser visto na Figura 4.2 no processo 1-2, onde existe a entrada de calor Q_{AQ} . Este processo é a concentração constante e igual a C_A (concentração alta), e com aumento da pressão, desde P_B até P_A . Ocorre aqui a segunda etapa de compressão da amônia, cujos cálculos serão mais tarde feitos numericamente. Na Figura 4.1, o aquecimento pode ser visto ficticiamente (por que não há amônia pura) como o processo 4'-3. Este processo é necessário para se obter o ciclo completo nesta Figura.

A pressão P_A é definida pela temperatura de condensação da amônia, e esta temperatura é definida pelo condensador e pela temperatura do fluido que irá absorver o calor de condensação. Como este fluido dissipa calor para o ar exterior, a pressão e temperatura de condensação dependem das condições do ar exterior. A temperatura de condensação será sempre um pouco maior que a temperatura do fluido que absorve o calor, para que o calor possa ir da amônia para o fluido, e a temperatura do fluido um pouco maior que a do ar ambiente. Quando a pressão da solução água/amônia chegar na pressão P_A , termina a fase de aquecimento e inicia a fase de destilação, pois nesse momento o condensador irá começar a condensar o vapor de amônia, diminuindo a pressão do vapor de amônia, e permitindo a evaporação de nova massa de amônia. Termina então a fase de aquecimento e começa a fase de destilação. Esta temperatura de condensação (t_C) pode ser vista na Figura 4.2, prolongando-se a curva P_A até o eixo concentração "1".

É interessante notar que " t_1 " é próximo a " t_C ", ambas um pouco acima da temperatura do meio quente, pois ambas dissipam calor para esta temperatura.

4.1.5 Destilação da solução

A fase de destilação é o processo 2-3 na Figura 4-2. É um processo isobárico, com pressão igual à P_A saída da massa de amônia " m_r " e entrada de calor " Q_D ", calor de destilação. Este calor se divide em:

a) Calor de separação:

Para ocorrer a separação das moléculas do par água/amônia, é necessário o fornecimento de calor a este par;

b) Calor de evaporação:

A amônia está na fase líquida (ponto "3", Figura 4.1) e deve, para separar-se da solução, ser antes evaporada de "3"

para "2", Figura 4.1. Esse calor aparece com a sigla " Q_{EG} ", calor de evaporação no gerador.

c) Calor sensível de aquecimento:

A solução inicia o processo com temperatura menor (t_2) do que termina (t_3), consumindo calor para aquecimento.

A amônia desprende-se da água por ser mais volátil, e isto pode ser confirmado comparando-se através da Figura 4.2 as temperaturas de vaporização da água e da amônia para a pressão P_A , obtendo-se então " t_C " na concentração "1" para a amônia e " t_{ag} " na concentração "0" para a água. Verifica-se então ser grande a diferença entre elas, por ser " t_{ag} " bem maior que " t_C ", ou seja, a água troca de fase, nesta pressão, numa temperatura bem maior inclusive que a temperatura da solução (t_2 e t_3).

O par água/amônia tem também outra característica: o absorvente (água) é volátil. Isto traz alguns cuidados especiais, pois não pode passar absorvente (água) para o depósito de líquido refrigerante (amônia). Por exemplo, em uma pressão de evaporação de 517 kPa, um conteúdo de 10% em peso de água amônia líquida aumenta a temperatura de evaporação de $5,1^{\circ}\text{C}$ para $7,7^{\circ}\text{C}$, com um aumento de $2,6^{\circ}\text{C}$ ^[2].

O cuidado para não passar água com amônia é feita através do resfriamento do vapor destilado, até uma temperatura de 10°C a 15°C * maior que a temperatura de condensação, " t_C ", que é o ponto "7" na Figura 4.2. Com isto consegue-se uma maior pureza no vapor da amônia, na ordem de 0,998 kg NH_3 /kg vapor. Este diferencial de temperatura aparece na Figura 4.2, com Δt_{SA} , diferencial de temperatura de superaquecimento. Este resfriamento é feito em um condensador de retificação. O superaquecimento pode ser visto também na Figura 4.1, segmento 2'-2. A saída do vapor de amônia do destilador pode ser vista com o símbolo " m_r " no processo 2-3, Figura 4.2 e a entrada no ponto 2 da Figura 4.1

* (Deduzido a partir de recomendação do fabricante).

4.1.6 Condensação da amônia

A amônia vai então ao condensador onde é primeiro desuperaquecida (processo 2-2') Figura 4.1 e após condensada (processo 2'-3), com dissipação do calor Q_C e pressão constante P_A . Após condensada, a amônia fica armazenada no depósito de líquido na condição "3" da Figura 4.1. O processo de destilação (processo 2-3, Figura 4.2) termina quando a concentração diminui de C_A até C_B . Outro limite prático existe para o processo 2-3, Figura 4.2: A temperatura da fonte quente de calor, pois esta limita a temperatura " t_3 " da Figura 4.2.

No sistema de energia solar, esta temperatura limite é a temperatura de aquecimento do óleo térmico nos coletores solares.

No fim do processo de destilação/condensação tem-se então a amônia (ponto 3, Figura 4.1) separada da solução (ponto 3, Figura 4.2), a amônia no depósito de líquido. O sistema está próximo então de reiniciar a produção de frio.

A amônia encontra-se na pressão alta P_A e temperatura ambiente, e a solução em P_A na temperatura alta (a maior do sistema) " t_3 ".

4.1.7 Expansão da amônia

Como já foi comentado, para a produção do frio a amônia tem que evaporar em baixa temperatura e baixa pressão. A amônia deve então sofrer uma diminuição da sua pressão (expansão). No ciclo Carnot de uma máquina de refrigeração esta expansão se dá com saída de trabalho, em uma máquina de expansão. Esta quantidade de trabalho é pequena, e a máquina de expansão muito complexa, o que atualmente não compensa a sua utilização. Substitui-se então a máquina de expansão por um dispositivo de expansão, ou um tubo de pequeno diâmetro interno e grande comprimento, ou uma válvula de expansão, sem produção de trabalho.

No ciclo de Carnot o processo na máquina de expansão é isentrópico, e no dispositivo de expansão isentálpico,

pois não há troca de energia com o meio externo à expansão. Como $h = u + pV$, a diminuição de pressão indica um aumento de volume e nota-se na expansão, que é o processo 3-4 da Figura 4.1, um aumento do título de amônia, conforme já citado anteriormente. Após a expansão tem-se então amônia em baixa pressão e baixa temperatura com capacidade de produzir frio. Mas o que causa esta perda de pressão da amônia por laminação? Algum processo deve aspirar, ou succionar a amônia, e obrigá-la a passar pela laminação (expansão). Na refrigeração mecânica é a sucção do compressor, e na refrigeração por absorção é o próprio processo de absorção, que devido a forte afinidade entre as moléculas de amônia e água, causa a sucção da amônia desde o depósito de líquido, a perda de pressão e posterior evaporação, conforme já comentado no início deste capítulo.

4.1.8 Resfriamento da solução

Em conclusão chega-se que a solução para absorver a amônia, deverá estar numa pressão um pouco mais baixa (perda de carga) que a de evaporação, ou seja, na pressão P_B . Logo, a solução que estava no ponto 3, Figura 4.2, com P_A , deve ser resfriada desde o ponto 3 até o ponto 4, para diminuir sua pressão. Esta é a etapa do resfriamento do ciclo, com saída de calor Q_R . Este calor existe para resfriar a solução e para resfriar todas as partes metálicas e óleo em contato térmico com a solução. Quando esta chegar no ponto 4, Figura 4.2, inicia o processo de evaporação/absorção descrito no início deste capítulo, com produção de frio.

4.2 Descrição de funcionamento

Os equipamentos necessários para a refrigeração solar por absorção podem ser vistos na Figura 4.5. A seguir será feita uma descrição do funcionamento dos equipamentos baseado nesta Figura, e no Anexo III estão detalhes de Engenharia des-

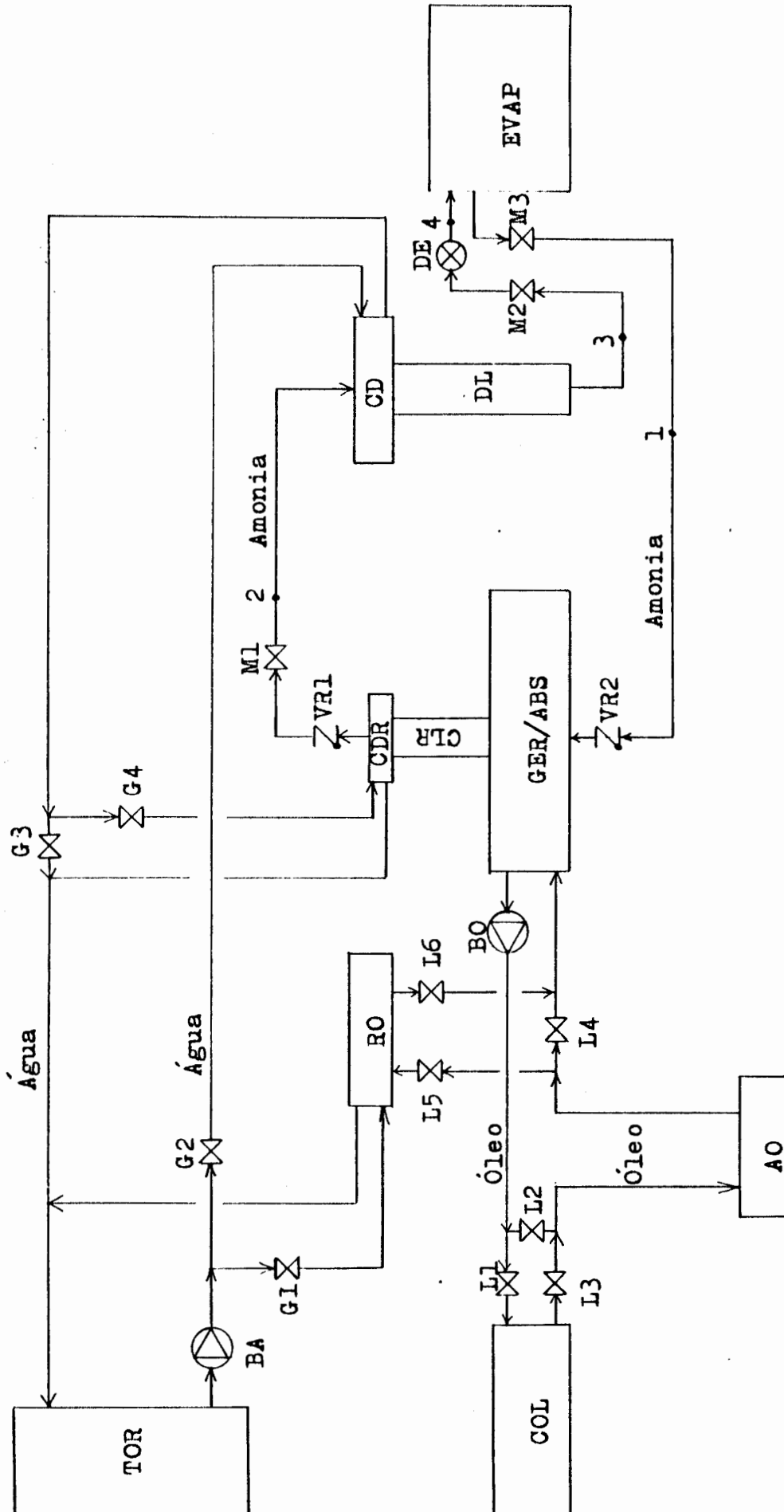


Fig. 4.5 - Diagrama de Equipamentos para Refrigeração Solar

tes equipamentos.

4.2.1 GER/ABS - Gerador/Absorvedor

É o equipamento mais importante do sistema de refrigeração, onde se dá a destilação e absorção da amônia, e daí vem o nome gerador/absorvedor. Os calores que entram e saem dos processos ali existentes são transferidos pelo óleo térmico que circula por este equipamento.

Dentro deste equipamento fica a solução água/amônia e é onde acontecem os processos da Figura 4.2. É um trocador de calor tipo casca e tubo. Na casca fica a solução água/amônia, e dentro dos tubos o óleo térmico.

4.2.2 CLR - Coluna de retificação

Logo acima do gerador/absorvedor fica a coluna de retificação, local por onde o produto da destilação sai do gerador. Serve para iniciar o desuperaquecimento na amônia e provável água produzida pela destilação, condensando esta água, inclusive, com alguma retenção mecânica.

4.2.3 CDR - Condensador de retificação

Tem como função completar o desuperaquecimento da amônia, permitindo que esta saia com um grau de superaquecimento igual a 10 a 15^oC, através da modulação da água de resfriamento. É um trocador de calor do tipo casca e tubo, passando a amônia na casca e a água de resfriamento nos tubos.

4.2.4 VR - Válvula de retenção (tipos esfera e mola)

Tem como função deixar passar a amônia somente em um sentido. A válvula "VR1" tem como função impedir o retorno da amônia líquida (absorção) por cima do gerador, não passando pelo evaporador, local onde deve ser produzido o frio. A válvula "VR2" tem como função impedir a passagem da mistura água/a -

mônia até o evaporador, impedindo que ocorra absorção no evaporador.

4.2.5 M - Registro de operação-amônia

São registros que permitem a abertura e fechamento, total ou parcial, das canalizações de amônia. O registro "M1" deve ser aberto na fase de destilação, permanecendo "M2" e "M3" fechados. Na fase de expansão-absorção, o registro "M1" é fechado, e por deficiência do dispositivo de expansão "DE", adiante explicado, o registro "M2" deve ser aberto 1/16 partes de uma volta, para modular a passagem de amônia, e o registro "M3" deve ser aberto.

4.2.6 Amônia

Representa as canalizações por onde circula a amônia, perfazendo o ciclo de refrigeração.

4.2.7 CD - Condensador

É o trocador de calor responsável pela condensação da amônia. É um trocador casca e tubo. Na casca circula a amônia em condensação sobre os tubos e nos tubos a água que retira o calor de condensação.

4.2.8 DL - Depósito de líquido

É onde fica depositado amônia na forma de líquido saturado na temperatura ambiente.

4.2.9 DE - Dispositivo de expansão

É o elemento responsável pela queda de pressão da amônia, desde o depósito de líquido até o evaporador. Este dispositivo mostrou-se insuficiente, causando pouca perda de carga

na expansão, exigindo a modulação da passagem de amônia através do registro "M2".

4.2.10 EVAP - Evaporador

É o local de produção de gelo, através da evaporação da amônia. É constituído por um tanque de salmoura isolado com poliestireno expandido. Dentro do tanque fica a serpentina de expansão da amônia.

4.2.11 BO - Bomba de óleo

Tem como função bombear o óleo através do sistema. O projeto original prevê o uso de painéis foto-voltaicos para movimentação da bomba. A bomba é acionada, quando em destilação solar, por um termostato diferencial, que compara a temperatura do gerador/absorvedor com a dos coletores, e aciona a bomba quando a última for maior.

4.2.12 L - Registro de óleo

Servem para abrir e fechar as passagens do óleo. Em fase de destilação solar deve-se abrir os registros "L1", "L3" e "L4" e fechar "L2", "L5" e "L6". Em fase de destilação com energia elétrica, deve-se abrir os registros "L2" e "L4" e fechar os "L1", "L3", "L5" e "L6". Nas fases de resfriamento e absorção deve-se abrir "L1", "L3", "L5" e "L6" e fechar "L2" e "L4".

4.2.13 COL - Coletores

São os coletores solares responsáveis pela entrega de calor ao óleo térmico, já analisado em capítulos anteriores.

4.2.14 AO - Aquecedor de óleo

Tem duas funções: aquecer o óleo com energia elétrica e servir como vaso de expansão para a dilatação do óleo térmico.

4.2.15 RO - Resfriador de óleo

Tem como função resfriar o óleo térmico, que retira o calor do gerador/absorvedor nas fases de resfriamento e absorção. É um trocador de calor do tipo casca e tubo, circulando o óleo na casca e a água nos tubos.

4.2.16 Óleo

Representa a tubulação de óleo

4.2.17 TOR - Torres de resfriamento

É responsável pelo resfriamento da água que absorve os calores de resfriamento e absorção.

4.2.18 BA - Bomba de água

Tem como função fazer a circulação da água de resfriamento.

4.2.19 G - Registros para água

São registros que tem como função manobrar a água. Em fase de aquecimento e destilação, o registro "G1" deve permanecer fechado, o registro "G2" aberto, o registro "G3" aberto meia volta, o "G4" fechado meia volta, para controle do desaquecimento no condensador de retificação.

4.2.20 Água

Representa as canalizações da água.

4.3 Medições experimentais e cálculos energéticos

Até a época de realização das medições experimentais deste trabalho não estavam concluídos os espelhos dos coletores solares e as medições foram feitas com o equipamento aquecido por energia elétrica.

As medições foram feitas com o sistema em regime contínuo (24 horas por dia, 5 dias por semana). A evolução das principais propriedades, em um dia típico (médio) das medições efetuadas, pode ser visto na Figura 4.6. Nela aparecem as quatro fases do ciclo, aquecimento, destilação, resfriamento e absorção, que serão a seguir analisadas.

Os cálculos energéticos foram feitas com modelo matemático baseado em equações de balanço e nos dados experimentais para condições médias. A comparação do resultado destes cálculos com o comportamento global do sistema medido de forma experimental foi utilizada para validar o modelo matemático.

4.3.1 Aquecimento

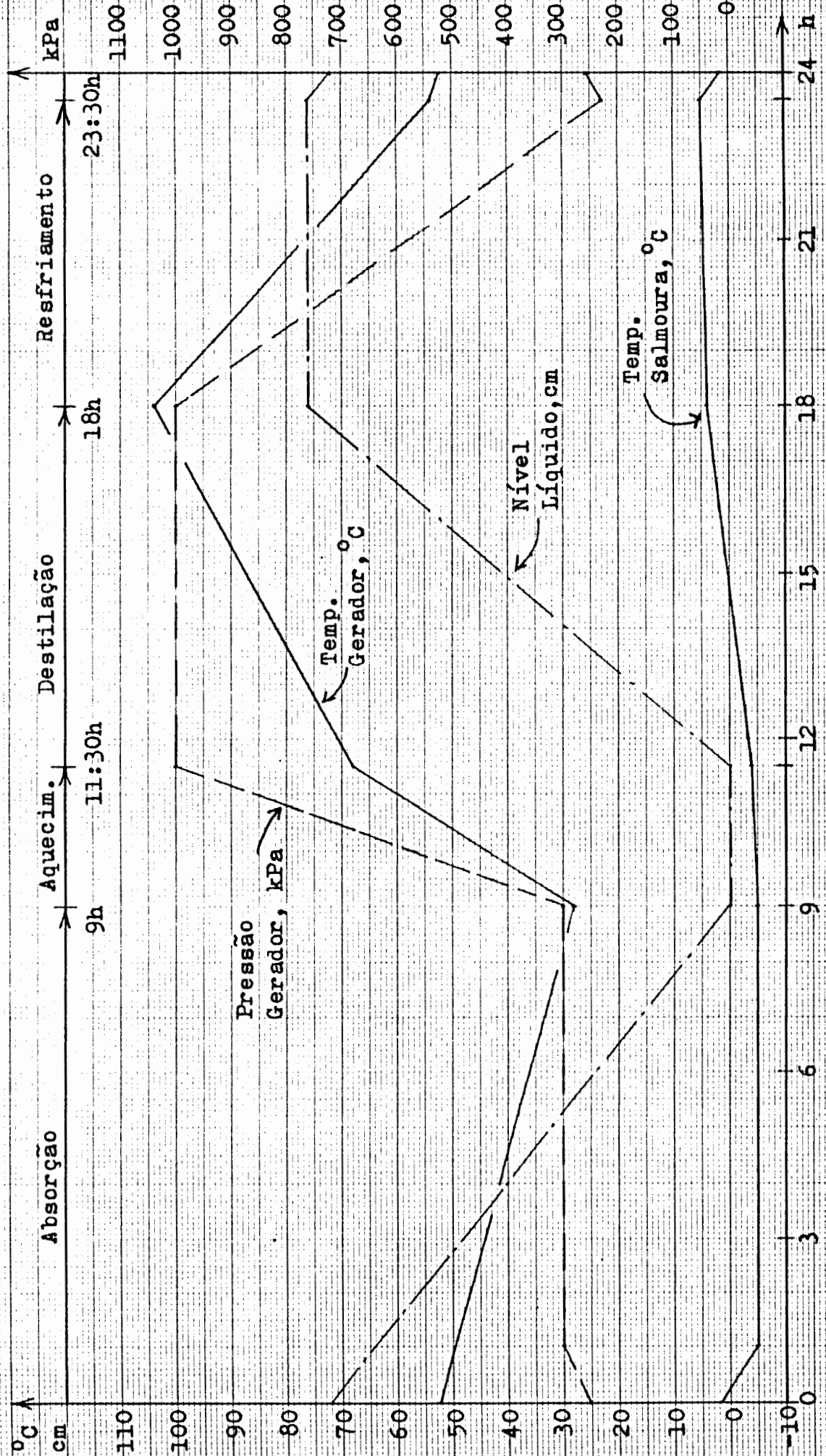
Durante o período de testes, a fase de aquecimento iniciou, em média às 9 horas. Neste ponto (número 1, Figura 4.2) as condições médias do sistema, em regime, foram as seguintes:

- Temperatura da solução: 28^oC
- Pressão da solução : 300 kPa
- Nível da solução : 31 cm
- Temperatura do óleo : 23^oC
- Temperatura externa : 18^oC

Na Figura 4.4 encontra-se:

- Concentração : 0,47
- Entalpia da solução: -130 kJ/kg

Fig. 4.6 - Etapas do Sistema e Evolução das Principais Propriedades



O fim da fase de aquecimento, e início de destilação (quando a pressão alcança a de condensação, conforme já comentado) ocorreu na fase de testes, em média às 11,30 h. Neste ponto, (Número 2, Figura 4.2) as condições médias do sistema foram as seguintes:

- Temperatura da solução: 68°C
- Pressão da solução : 1000 kPa
- Temperatura do óleo : 78°C

Na Figura 4.4 encontra-se:

- Entalpia da solução: 60 kJ/kg

Com estes dados pode-se calcular teoricamente o calor gasto no aquecimento, com a equação:

$$Q_{aq} = Q_{sol} + Q_{equip} = Q_{perd}, \text{ onde:}$$

Q_{aq} = calor gasto no aquecimento, kJ

Q_{sol} = calor para aquecer a solução, kJ

$Q_{equip.}$ = calor para aquecer o óleo térmico e partes metálicas, kJ

Q_{perd} = calor perdido por transmissão, kJ

O calor Q_{sol} é calculado com a equação:

$$Q_{sol} = m_s (h_2 - h_1), \text{ onde:}$$

m_s = massa de solução, kg

h_2 e h_1 = entalpia da solução nos pontos 1 e 2, kJ/kg

A massa da solução foi calculada pela equação:

$$m_s = V_s / v_s, \text{ onde:}$$

V_s = volume da solução, m³

v_s = volume específico da solução, m³/kg

O volume V_s foi calculado com nível da solução igual a 31 cm, considerando que o centro do gerador/absorvedor corresponde ao nível 25,5 cm, e descontando-se o volume dos tubos. Chegou-se então a um volume de $0,25 \text{ m}^3$. O volume específico foi retirado da Tabela 4.1, Volume específico da solução amônia - água saturada, para temperatura de 28°C e concentração 0,47, valor de $0,00121 \text{ m}^3/\text{kg}$. Temos então:

$$m_s = 0,25/00121 = 206,61 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{sol}} = 206,61 (60 + 130) = 39.256 \text{ kJ}$$

O calor Q_{equip} é calculado por:

$$Q_{\text{equip}} = V_o \rho_o C_o \Delta t_o + V_m \rho_m C_m \Delta t_m, \text{ onde}$$

V_o = volume do óleo, m^3

ρ_o = densidade do óleo, kg/m^3

C_o = calor específico do óleo, $\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$

Δt_o = incremento de temperatura do óleo, $^\circ\text{C}$

V_m = volume das partes metálicas, m^3

C_m = calor específico das partes metálicas, $\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$

ρ_m = densidade do aço, kg/m^3

Δt_m = incremento de temperatura das partes metálicas, $^\circ\text{C}$

Com os valores encontrados tem-se:

$$Q_{\text{equip}} = 0,135 \times 870 \times 2 \times (78 - 23) + \\ + 0,069 \times 7830 \times 0,5 \times (78 - 23) = 27777 \text{ kJ}$$

Tab. 4.1 - Volume Específico da Solução Água-Amônia, m³/kg [2]

Temp, °C	Concentration, % Weight Ammonia										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-10	0.00100	0.00103	0.00106	0.00109	0.00114	0.00118	0.00122	0.00128	0.00135	0.00142	0.00151
0	0.00100	0.00103	0.00107	0.00110	0.00114	0.00119	0.00124	0.00130	0.00137	0.00146	0.00156
10	0.00100	0.00104	0.00107	0.00111	0.00115	0.00120	0.00125	0.00132	0.00139	0.00149	0.00160
20	0.00100	0.00104	0.00108	0.00112	0.00116	0.00121	0.00127	0.00133	0.00142	0.00152	0.00164
30	0.00100	0.00105	0.00108	0.00113	0.00117	0.00123	0.00128	0.00135	0.00145	0.00156	0.00168
40	0.00101	0.00105	0.00109	0.00114	0.00119	0.00124	0.00130	0.00138	0.00148	0.00159	0.00173
50	0.00101	0.00106	0.00110	0.00115	0.00120	0.00125	0.00132	0.00140	0.00151	0.00163	0.00177
60	0.00102	0.00106	0.00111	0.00116	0.00121	0.00127	0.00134	0.00143	0.00154	0.00167	0.00183
70	0.00102	0.00107	0.00112	0.00117	0.00122	0.00129	0.00136	0.00146	0.00158	0.00172	0.00190
80	0.00103	0.00108	0.00113	0.00118	0.00124	0.00130	0.00139	0.00149	0.00162	0.00178	0.00198
90	0.00104	0.00109	0.00114	0.00119	0.00125	0.00132	0.00141	0.00153	0.00167	0.00184	0.00208
100	0.00104	0.00110	0.00115	0.00121	0.00127	0.00135	0.00145	0.00157	0.00172	0.00191	0.00219

A potência dissipada foi calculada com a equação:

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = \dot{Q}_{\text{ger}} + \dot{Q}_{\text{clr}} + \dot{Q}_{\text{canal}} + \dot{Q}_{\text{aqol}}, \text{ onde:}$$

$$\dot{Q}_{\text{ger}} = 0,281 \times 6 \times (48 - 18) \times 1,1 = 56 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{clr}} = 19,6 \times 0,38 \times (48 - 18) = 223 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{canal}} = 19,6 \times 0,72 \times (58 - 18) = 564 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{aqol}} = 1,344 \times 1,22 \times (58 - 18) = \frac{66 \text{ W}}{909 \text{ W}}$$

Os subscritos representam:

\dot{Q}_{perd} = potência dissipada pelo equipamento;

\dot{Q}_{ger} = potência dissipada pelo gerador/absorvedor;

\dot{Q}_{clr} = potência dissipada pela coluna de retificação;

\dot{Q}_{canal} = potência dissipada pelas canalizações de óleo;

$\dot{Q}_{\text{aq.ol}}$ = potência dissipada pelo aquecedor de óleo.

O calor total gasto no aquecimento foi então igual a:

$$\begin{aligned} Q_{\text{tot.aquec.}} &= 39256 + 27777 + (0,909 \times 3600 \times 2,5) = \\ &= 39256 + 27777 + 8181 = 75.214 \text{ kJ} \end{aligned}$$

A potência de aquecimento, nominal 12kW, devido à baixa tensão existente na época de testes (193 V) dissipava somente 9,24 kW. Com isso, tem-se um tempo de aquecimento:

$$= \frac{39256 + 27777}{(9,24 - 0,909) \times 3600} \approx 2,2 \text{ h}$$

Nota-se aqui uma pequena diferença entre o tempo médio real de teste de aquecimento, 2,5 horas, e o tempo teórico calculado, de aproximadamente 2,2 horas.

4.3.2 Destilação

O período de destilação iniciou, em média, nos testes, às 11,30 horas e terminou às 18,00 horas, conforme Figura 4.6. As condições iniciais de destilação (ponto 2, Figura 4.2) foram as seguintes:

- Temperatura da solução: 68^oC
- Pressão da solução : 1000 kPa
- Temperatura óleo : 78^oC
- Nível de amônia : 0 cm
- Entalpia da solução : 60 kJ/kg

As condições finais da destilação, em média foram as seguintes (ponto 3, Figura 4.2):

- Temperatura da solução: 104^oC
- Pressão da solução : 1000 kPa
- Temperatura do óleo : 114^oC
- Nível de amônia : 76 cm

Na Figura 4.4 encontra-se:

- Concentração: 0,29
- Entalpia da solução: 270 kJ/kg

- Temperatura condensação: 25°C

No processo de destilação ocorre a saída de vapor de amônia da solução, entre os pontos 2 e 3. Devido à simplicidade de cálculo se supõe que o vapor de amônia sai, todo ele, na condição média assinalada pelo ponto 5 da Figura 4.2. Este ponto 5 apresenta a seguinte condição:

- Entalpia do vapor de amônia: 1480 kJ/kg

- Temperatura da solução : 86°C

A análise das massas do processo mostra os seguintes dados:

No processo de aquecimento e início de destilação, tinha-se a massa de amônia e água no gerador/absorvedor. Essa massa, já calculada acima, era de 206,85 kg. Como a concentração de aquecimento e início de destilação, nos testes feitos, foi de 0,47 kg de amônia/kg solução, tem-se nesse ponto, 97,22 kg de amônia (0,47 x 206,85), e 109,63 kg de água (206,85 - 97,22). Considerando-se que o sistema de refrigeração funcione bem, no fim da destilação tem-se a mesma massa de água no gerador/absorvedor, ou seja, 109,63 kg. Como a concentração média no fim de destilação foi, nos testes feitos de 0,29 kg amônia/kg solução, tem-se nesse ponto, 0,71 kg água/kg solução (1-0,29) e a massa da solução era então, 154,41 kg (109,63/0,71). A massa de amônia destilada, nos testes, foi então de, pelos cálculos acima, 52,44 kg (206,85 - 154,41).

Este último dado será comparado com o nível de amônia medido no depósito de líquido e conseqüentemente massa de amônia. Nos testes, o nível médio final foi de 76 cm, e massa de amônia foi calculada considerando-se que o diâmetro interno do depósito de líquido é 385 mm. Tem-se então o volume de:

$$V = \frac{\pi}{4} \times 0,385^2 \times 0,76 \times 1000 = 88,5 \text{ litros}$$

Como o nível de líquido não considera a calota inferior do depósito, onde tem-se 7,35 litros, o volume total é de:

$$V = 88,5 + 7,35 = 96 \text{ litros}$$

Para calcular-se a massa de amônia é necessário o volume específico, encontrado na Tabela 4.2, onde para uma temperatura média de 24°C tem-se densidade igual a 604,48 kg/m³, e a massa de amônia é calculada por:

$$m = 0,096 \times 604,48 = 58 \text{ kg}$$

Nota-se aqui uma diferença entre esse valor e o anterior, 52,44 kg. Nos cálculos subsequentes, será considerado o valor de 58 kg para melhor adequação aos resultados medidos de consumo de energia.

O calor gasto na destilação é calculado por:

$$Q_D = m_r h_r + m_{s3} h_3 - m_{s2} h_2 + Q_{aquec} + Q_{perd}, \text{ onde:}$$

(Ver Figura 4.2)

m_r = massa de amônia que sai do ciclo, kg

h_r = entalpia média da amônia, kJ/kg

m_{s3} = massa de solução no ponto 3, kg

h_3 = entalpia de solução no ponto 3, kJ/kg

m_{s2} = massa de solução no ponto 2, kg

h_2 = entalpia da solução no ponto 2, kJ/kg

Q_{aquec} = calor para aquecimento do óleo térmico e partes metálicas, kJ

Q_{perd} = calor perdido por transmissão, kJ

Colocando-se os valores tem-se:

$$m_r h_r = 58 \times 1480 = 85840 \text{ kJ}$$

$$m_{s3} h_3 = 154,41 \times 270 = 41691 \text{ kJ}$$

Tab. 4.2 - Propriedades do Refrigerante 717 (Amônia) [2]

Temp C	Pressure MPa	Volume Vapor m ³ /kg	Density Liquid kg/m ³	Enthalpy		Entropy		Temp C	Pressure MPa	Volume Vapor m ³ /kg	Density Liquid kg/m ³	Enthalpy	
				Liquid kJ/kg	Vapor kJ/kg	Liquid kJ/kg K	Vapor kJ/kg K					Liquid kJ/kg	Vapor kJ/kg
-77.67	0.006060	15.689	733.86	-1110.11	380.09	4.2032	11.8278	10	0.61329	0.20610	624.81	-716.14	509.06
-75	0.007481	12.874	730.90	-1097.37	385.08	4.2679	11.7507	12	0.65678	0.19301	621.98	-706.74	510.84
-70	0.010911	9.0362	725.33	-1074.44	394.31	4.3822	11.6134	14	0.70261	0.18091	619.13	-697.30	512.54
-65	0.015588	6.4694	719.66	-1052.24	403.38	4.4902	11.4845	16	0.75087	0.16971	616.25	-687.84	514.18
-60	0.021848	4.7169	713.89	-1030.38	412.27	4.5919	11.3633	18	0.80164	0.15933	613.35	-678.34	515.74
-55	0.030086	3.4973	708.00	-1008.63	420.97	4.6947	11.2491	20	0.85501	0.14971	610.42	-668.82	517.22
-50	0.040756	2.6334	702.02	-986.88	429.45	4.7932	11.1413	22	0.91106	0.14077	607.46	-659.26	518.62
-45	0.054379	2.0114	695.97	-965.06	437.70	4.8898	11.0394	24	0.96987	0.13247	604.48	-649.67	519.95
-40	0.071540	1.5567	689.86	-943.12	445.70	4.9849	10.9428	26	1.0315	0.12474	601.47	-640.05	521.19
-38	0.079538	1.4099	687.40	-934.31	448.83	5.0224	10.9056	28	1.0962	0.11755	598.43	-630.39	522.35
-36	0.088251	1.2794	684.94	-925.48	451.91	5.0598	10.8692	30	1.1638	0.11084	595.36	-620.70	523.42
-34	0.097725	1.1630	682.47	-916.63	454.96	5.0969	10.8334	32	1.2346	0.10458	592.27	-610.97	524.40
-33.33	0.101325	1.1244	681.37	-913.44	456.04	5.1102	10.8208	34	1.3086	0.09874	589.14	-601.21	525.28
-32	0.10801	1.0592	679.98	-907.75	457.95	5.1338	10.7984	36	1.3859	0.09328	585.98	-591.41	526.08
-30	0.11915	0.96625	677.49	-898.86	460.91	5.1704	10.7641	38	1.4667	0.08817	582.78	-581.57	526.77
-28	0.13120	0.88294	674.99	-889.94	463.81	5.2069	10.7304	40	1.5515	0.08321	579.54	-571.69	527.38
-26	0.14421	0.80812	672.47	-881.01	466.67	5.2431	10.6974	42	1.6403	0.07839	576.26	-561.77	527.92
-24	0.15823	0.74081	669.95	-872.05	469.49	5.2791	10.6650	44	1.7332	0.07370	572.94	-551.81	528.39
-22	0.17335	0.68013	667.42	-863.07	472.25	5.3149	10.6332	46	1.8301	0.06914	569.58	-541.81	528.80
-20	0.18959	0.62535	664.88	-854.06	474.96	5.3505	10.6019	48	1.9310	0.06471	566.18	-531.77	529.15
-18	0.20702	0.57580	662.32	-845.04	477.63	5.3859	10.5713	50	2.0359	0.06041	562.74	-521.70	529.45
-16	0.22571	0.53092	659.75	-835.99	480.24	5.4212	10.5411	52	2.1448	0.05623	559.26	-511.60	529.70
-14	0.24571	0.49019	657.16	-826.92	482.80	5.4562	10.5116	54	2.2577	0.05218	555.74	-501.47	529.91
-12	0.26710	0.45318	654.57	-817.83	485.31	5.4910	10.4825	56	2.3746	0.04825	552.18	-491.31	530.08
-10	0.28993	0.41949	651.95	-808.71	487.76	5.5257	10.4539	58	2.4955	0.04444	548.58	-481.12	530.22
-8	0.31427	0.38879	649.32	-799.57	490.16	5.5601	10.4257	60	2.6204	0.04074	544.94	-470.91	530.30
-6	0.34020	0.36076	646.68	-790.40	492.50	5.5944	10.3981	62	2.7493	0.03714	541.26	-460.68	530.35
-4	0.36777	0.33514	644.01	-781.21	494.79	5.6285	10.3708	64	2.8822	0.03363	537.54	-450.43	530.37
-2	0.39708	0.31168	641.33	-771.99	497.01	5.6623	10.3440	66	3.0191	0.03021	533.78	-440.15	530.35
0	0.42818	0.29019	638.63	-762.75	499.18	5.6963	10.3176	68	3.1600	0.02688	529.98	-429.84	530.29
2	0.46115	0.27046	635.91	-753.48	501.28	5.7299	10.2916	70	3.3049	0.02364	526.14	-419.50	530.19
4	0.49607	0.25233	633.17	-744.19	503.33	5.7633	10.2660	72	3.4538	0.02049	522.26	-409.13	530.06
6	0.53302	0.23564	630.40	-734.87	505.30	5.7966	10.2407	74	3.6067	0.01743	518.34	-398.73	529.90
8	0.57206	0.22027	627.62	-725.52	507.22	5.8298	10.2158	76	3.7636	0.01446	514.38	-388.30	529.71
								78	3.9245	0.01158	510.38	-377.84	529.49
								80	4.0894	0.00878	506.34	-367.35	529.24
								82	4.2583	0.00604	502.26	-356.84	528.96
								84	4.4312	0.00336	498.14	-346.31	528.65
								86	4.6081	0.00074	494.00	-335.77	528.30
								88	4.7890		490.00	-325.22	527.92
								90	4.9739		486.00	-314.67	527.50
								92	5.1628		482.00	-304.12	527.04
								94	5.3557		478.00	-293.57	526.55
								96	5.5526		474.00	-283.02	526.03
								98	5.7535		470.00	-272.47	525.48
								100	5.9584		466.00	-261.92	524.91
								102	6.1673		462.00	-251.37	524.31
								104	6.3802		458.00	-240.82	523.68
								106	6.5971		454.00	-230.27	523.02
								108	6.8180		450.00	-219.72	522.34
								110	7.0429		446.00	-209.17	521.63
								112	7.2718		442.00	-198.62	520.89
								114	7.5047		438.00	-188.07	520.12
								116	7.7416		434.00	-177.52	519.32
								118	7.9825		430.00	-166.97	518.50
								120	8.2274		426.00	-156.42	517.65
								122	8.4763		422.00	-145.87	516.77
								124	8.7292		418.00	-135.32	515.86
								126	9.0861		414.00	-124.77	514.91
								128	9.4470		410.00	-114.22	513.94
								130	9.8119		406.00	-103.67	512.94
								132	10.1808		402.00	-93.12	511.91
								134	10.5537		398.00	-82.57	510.85
								136	10.9306		394.00	-72.02	509.76
								138	11.3115		390.00	-61.47	508.64
								140	11.6964		386.00	-50.92	507.49
								142	12.0853		382.00	-40.37	506.31
								144	12.4782		378.00	-29.82	505.10
								146	12.8751		374.00	-19.27	503.87
								148	13.2760		370.00	-8.72	502.61
								150	13.6809		366.00	1.83	501.33
								152	14.0898		362.00	11.28	500.02
								154	14.5027		358.00	20.73	498.69
								156	14.9196		354.00	30.18	497.33
								158	15.3405		350.00	39.63	495.94
								160	15.7654		346.00	49.08	494.52
								162	16.1943		342.00	58.53	493.07
								164	16.6272		338.00	67.98	491.60
								166	17.0641		334.00	77.43	490.11
								168	17.5050		330.00	86.88	488.60
								170	17.9509		326.00	96.33	487.07
								172	18.4018		322.00	105.78	485.52
								174	18.8577		318.00	115.23	483.95
								176	19.3186		314.00	124.68	482.37
								178	19.7845		310.00	134.13	480.77
								180	20.2554		306.00	143.58	479.15
								182	20.7313		302.00	153.03	477.51
								184	21.2122		298.00	162.48	475.85
								186	21.6981		294.00	171.93	474.17
								188	22.1890		290.00	181.38	472.47
								190	22.6849		286.00	190.83	470.75
								192	23.1858		282.00	200.28	469.01
								194	23.6917		278.00	209.73	467.25
								196	24.2026		274.00	219.18	465.47
								198	24.7185		270.00	228.63	463.67
								200	25.2394		266.00	238.08	461.85
								202	25.7653		262.00	247.53	460.01
								204	26.2962		258.00	256.98	458.15
								206	26.8321		254.00	266.43	456.27
								208	27.3730		250.00	275.88	454.37
								210	27.9189		246.00	285.33	452.45
								212	28.4698		242.00	294.78	450.51
								214	29.0257		238.00	304.23	448.55
								216	29.5866		234.00	313.68	446.57
								218	30.1525		230.00	323.13	444.57
								220	30.7234</				

$$m_{s2} h_2 = 206,85 \times 60 = 12411 \text{ kJ e } Q_{sol} = 85840 + 41691 - 12411 = 115120 \text{ kJ}$$

$$Q_{aquec} = Q_{\acute{o}leo} + Q_{metal}$$

$$Q_{\acute{o}leo} = 0,135 \times 870 \times 2 \times (114 - 78) = 8456 \text{ kJ}$$

$$Q_{metal} = 0,069 \times 7830 \times 0,5 \times (104 - 68) = 9725 \text{ kJ}$$

$$Q_{aquec} = 18\ 181 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{perd} = \dot{Q}_{ger} + \dot{Q}_{clr} + \dot{Q}_{canos} + \dot{Q}_{aqo}, \text{ onde:}$$

\dot{Q}_{ger} = potência dissipada pelas paredes do gerador, W

\dot{Q}_{clr} = potência dissipada pela coluna de retificação, W

\dot{Q}_{canos} = potência dissipada pelas canalizações de óleo, W

\dot{Q}_{aqo} = potência dissipada pelo aquecedor de óleo, W

Cálculos

$$\dot{Q}_{ger} = 0,281 \times 6 \times (86 - 18) \times 1,1 = 126 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{clr} = 19,6 \times 0,38 \times (86 - 18) = 506 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{canos} = 19,6 \times 0,72 \times (96 - 18) = 1101 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{aqo} = 1,3444 \times 1,22 \times (96 - 18) = \underline{128 \text{ W}}$$

$$\dot{Q}_{perd} = 1861 \text{ W}$$

Observação: \dot{Q}_{canos} mostra a necessidade de isolamento térmico dos canos.

$$Q_{total} = 115120 + 8456 + 9725 = 133\ 301 \text{ kJ}$$

O calor total gasto na destilação foi então de:

$$Q_{tot. destilação} = 133.301 + (1.861 \times 3600 \times 6,5) = 176846 \text{ kJ}$$

$$\text{Tempo de destilação} = \frac{133.301}{(9,24 - 1,861) \times 3600} = 5,02 \text{ h}$$

Este tempo não confere com o tempo real, que foi de 6,5 h, mas as razões da diferença acima apresentada, provavelmente são perdas de calor para a estrutura da "geladeira" e simplificações gráficas efetuadas.

4.3.3 Resfriamento

O resfriamento iniciou-se em média às 18,00 horas e terminou às 23,30 horas, conforme Figura 4.6. As condições finais de resfriamento (ponto 4, Figura 4.2), foram as seguintes:

- Temperatura da solução: 54°C
- Pressão da solução : 230 kPa
- Temperatura do óleo : 44°C
- Nível da solução : 26,5 cm

Da Figura 4.2 retira-se:

- Entalpia da solução : 30 kJ/kg

O calor de resfriamento Q_R é calculado por:

$$Q_R = Q_{sol} + Q_{\text{óleo}} + Q_{\text{metal}} = Q_{\text{água}} + Q_{\text{perd}}, \text{ onde:}$$

Q_{sol} = calor retirado da solução, kJ

$Q_{\text{óleo}}$ = calor retirado do óleo, kJ

Q_{metal} = calor retirado das partes metálicas, kJ

$Q_{\text{água}}$ = calor retirado pela água de resfriamento, kJ

Q_{perd} = calor perdido, kJ

Estes calores calculados resultam:

$$Q_{sol} = 154,41 \times (270 - 30) = 37058 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{óleo}} = 0,135 \times 870 \times 2 \times (114 - 44) = 16443 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{metal}} = 0,069 \times 7830 \times 0,5 \times (104 - 54) = \underline{13507 \text{ kJ}}$$

$$\text{Tot} = 67008 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = \dot{Q}_{\text{abs}} + \dot{Q}_{\text{ref.01}} + \dot{Q}_{\text{canos}} + \dot{Q}_{\text{aq.01.}}, \text{ onde:}$$

$$\dot{Q}_{\text{abs}} = 0,281 \times 6 (79 - 18) = 103 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{ref.01}} = 19,6 \times 1,3 \times (69 - 18) = 1299 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{canal}} = 19,6 \times 0,72 \times (69 - 18) = 720 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{aq.01.}} = 1,344 \times 1,22 \times (69 - 18) = \underline{84 \text{ W}}$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = 2206 \text{ W}$$

$$Q_{\text{perd}} = 2,206 \times 5,5 \times 3600 = 43679 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{água}} = 67008 - 43679 = 23.329 \text{ kJ}$$

O calor perdido (67008 kJ) deve ser objeto de tentativa de aproveitamento, e não ser perdido. As idéias de utilização deste calor, na ordem de crescimento de complexidade são as seguintes:

a) circular o óleo térmico em primeiro lugar pela estufa para mantê-la aquecida;

b) circular o óleo por um reservatório acumulador de calor, para armazenagem de parte deste calor:

4.3.4 Absorção

A absorção, durante o período de testes, iniciou em média às 23,00 horas e terminou às 9,00 horas, conforme Figura 4.6. As condições finais de absorção foram as seguintes:

- Temperatura de solução: 28°C
- Pressão da solução : 300 kPa
- Entalpia da solução : -130 kJ/kg
- Temperatura do óleo : 23°C

A condição média de entrada do vapor de amônia (ponto 6, Figura 4.2) apresentou:

- Entalpia: 1387 kJ/kg

O calor de absorção, Q_{ab} , é calculado por:

$$Q_{ab} = Q_{sol} + Q_{\text{óleo}} + Q_{\text{metal}} = Q_{\text{água}} + Q_{\text{perd}}, \text{ onde:}$$

$$Q_{sol} = m_{s4}h_4 + m_r h_r - m_{s1}h_1$$

$$Q_{sol} = (154,41 \times 30) + (58 \times 1387) + (206,85 \times 130) = 111969 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{óleo}} = 0,135 \times 870 \times 2 (44 - 23) = 4933 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{metal}} = 0,069 \times 7830 \times 0,5 \times (54 - 28) = \underline{7024 \text{ kJ}}$$

$$Q_{ab} = 123926 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = \dot{Q}_{\text{ger}} + \dot{Q}_{\text{canal}} + \dot{Q}_{\text{aq.01}} + \dot{Q}_{\text{ref.01}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ger}} = 0,281 \times 6 \times (41 - 18) = 39 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{canal}} = 19,6 \times 0,72 \times (31 - 18) = 183 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{ref.01}} = 19,6 \times 1,3 \times (31 - 18) = 331 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{aq.01}} = 1,344 \times 1,22 \times (31 - 18) = \underline{21 \text{ W}}$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = 575 \text{ W}$$

$$Q_{\text{perd}} = 0,575 \times 9,5 \times 3600 = 19665 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{água}} = 123926 - 19665 = 104261 \text{ kJ}$$

A relação de compressão na absorção foi calculada dividindo-se o volume de amônia evaporada e absorvida pelo aumento de volume da solução durante a absorção. O volume da amônia é [2]:

$$V_{\text{amônia}} = 58 \times 0,4 = 23,2 \text{ m}^3, \text{ onde:}$$

0,4 é o volume específico da amônia, ponto "1", Figura 4.1.

O volume da solução no início da absorção, encontrado com o nível 26,5 cm foi de $0,199 \text{ m}^3$, e no fim da absorção, conforme ítem 4.3.1, foi de $0,25 \text{ m}^3$.

A relação de compressão RC é pois:

$$RC_{abs} = \frac{23,2}{(0,25 - 0,199)} = 455/1$$

Na refrigeração por compressão mecânica esta relação seria:

$$RC_{mec} = \frac{1000}{300} = 3,33/1$$

Esta grande diferença é provavelmente uma das razões físicas da diferença de coeficiente de performance (ou rendimento) vistos no Capítulo 1 entre os dois ciclos de refrigeração.

4.3.5 Balanço energético do ciclo

O balanço energético do ciclo da solução apresenta:

Calores que entram = Calores que saem

$Q_{aq} + Q_{dest} = Q_{resf} + Q_{abs}$, ou seja,
deveria ser igual à:

$$39256 + 115120 = 37058 + 111969$$

mas nota-se a seguinte diferença:

$$154376 \text{ kJ} \neq 149027 \text{ kJ}$$

esta diferença, na ordem de 3%, foi considerada satisfatória face às aproximações efetuadas.

4.3.6 Evaporador/Congelador

O sistema apresenta 12 formas de gelo, com capacidade cada uma para 9 litros, num total de 108 litros. Durante os testes em regime contínuo, sempre ficou um pouco de água líquida acima do gelo formado dentro das formas. Esta água líquida recolhida para posterior aproveitamento (por estar a 0°C) representou uma forma, ou 9 litros. O sistema produziu portanto, em regime contínuo, 99 litros (quilos) de gelo por dia, quando a

produção nominal do projeto era de 100 kg de gelo por dia. A operação de retirada do gelo começou, em média, nos testes, às 9,00 horas, coincidindo com o início da fase de aquecimento. Nesta hora, a temperatura média da salmoura foi de -5°C . Devido à entrada de calor durante o dia, por condução e insolação, no início da absorção, em média às 23,00 horas, a salmoura encontrava-se a 5°C e a água dentro das formas a 4°C . Considerando-se que a salmoura, durante a fase de absorção permaneceu, em média, a -5°C , tem-se a carga térmica do congelador calculada da seguinte forma:

$$Q_{\text{cong}} = Q_{\text{sal}} + Q_{\text{metais}} + Q_{\text{água}} + Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{perdas}}, \text{ onde:}$$

$$Q_{\text{sal}} = 0,416 \times 1170 \times 3,14 \times 10 = 15283 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{met}} = 42,6 \times 0,5 \times 10 = 2130 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{água}} = 108 \times 4,18 \times 4 = 1806 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{gelo}} = 100 \times 334 = 33400 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = 0,372 \times 6,9 (18 + 5) \times 1,2 = 70,84 \text{ W}$$

$$Q_{\text{perd}} = 0,07084 \times 9,5 \times 3600 = 2423 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{total}} = 55042 \text{ kJ}$$

A produção do frio, como já visto, é feita pela evaporação da amônia, processo 4-1, Figura 4.1. A amônia está armazenada no depósito de líquido na condição do ponto 3, na temperatura ambiente e conseqüente pressão de saturação. Passa então pela expansão, processo 3-4, até a pressão de absorção, função da solução no absorvedor e então evapora absorvendo calor. A entalpia do ponto 4, Figura 4.3 é de -640 kJ/kg , e a do ponto 1 é 490 kJ/kg . Considerando-se uma massa de $52,44 \text{ kg}^*$ evaporan-

* (Considerou-se $52,44 \text{ kg}$ para compensar amônia retida na calota inferior do depósito de líquido).

do, tem-se calor de:

$$Q_{\text{frio}} = 52,44 (490 + 640) = 59257 \text{ kJ}$$

Nota-se uma diferença em relação ao calor teórico acima, 55042 kJ, que não foi eliminada.

4.3.7 Balanço energético total

Com vistas ao cálculo do coeficiente de performance e dimensionamento do sistema solar, tem-se as seguintes quantidades de calor:

a) Efeito útil:

$$\text{Frio total produzido} = 59\ 257 \text{ kJ}$$

b) Energia gasta:

A energia gasta no aquecimento e destilação, excluindo a energia gasta pelas bombas de circulação, tem os seguintes valores, teórico e real:

Teórico

$$Q_{\text{tot}} = 75214 + 176848 = 252062 \text{ kJ}$$

Real (Medido)

$$Q_{\text{tot}} = 9,24 \times 3600 \times 9 = 299.376 \text{ kJ}$$

O sistema solar deve ter capacidade para absorver 299.376 kJ por dia.

c) O coeficiente de performance (COP)

$$\text{COP} = \frac{\text{Efeito útil}}{\text{Energia gasta}} = \frac{59527}{299.376} = 0,199 = 19,9\%$$

Coeficiente de performance dos ciclos de Carnot (COP_c)

$$\text{COP}_c = \frac{T_E (T_c - T_A)}{T_c (T_A - T_E)} = \frac{263 (387 - 297)}{387 (297 - 263)} = 1,799 = 179,9\%$$

Rendimento do ciclo de refrigeração (η)^[10]:

$$\eta = \frac{0,199}{1,799} = 0,11 = 11\%$$

O COP acima calculado pode ser chamado como rendimento pela 1ª lei da termodinâmica e o rendimento (η) acima calculado pode ser chamado como rendimento pela 2ª lei da termodinâmica.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O presente trabalho apresentou evolução e conclusões que podem ser consideradas satisfatórias, e que passarão a ser analisadas.

O sistema produtor de gelo analisado neste trabalho é capaz de realizar a produção de gelo de projeto, necessitando, além das melhorias relacionadas ao longo deste capítulo, uma procura em direção a sua diminuição de custos, sem diminuição de rendimento e durabilidade.

Uma análise interessante feita neste trabalho é a aplicação dos ciclos de Carnot para máquina térmica e para máquina de refrigeração, colocados em série e aplicados à um ciclo de absorção. Obtem-se então uma expressão que permite o cálculo do rendimento teórico máximo de um ciclo de absorção. Este rendimento pode então ser utilizado no cálculo da eficiência do sistema pela segunda lei da termodinâmica.

Ao longo do trabalho foi desenvolvido um projeto de engenharia do sistema pelo Grupo de Energia Solar. Este projeto foi básico nas fases de fabricação, montagem, testes e modificações iniciais, mostrando claramente a vantagem e até necessidade de se ter um projeto completo do sistema para execução satisfatória das fases acima descritas. Este projeto tem função importante também em casos de ampliação ou reprodução do sistema.

O sistema solar apresentou boas condições de montagem e funcionamento. As soluções tomadas para os coletores (sistema tubo-de-torque/biela) apresentaram-se satisfatórias, com alguns problemas quanto ao sistema de fixação dos espelhos, que deve ser reavaliado, provavelmente alterando-se a fixação por colagem para fixação mecânica.

O projeto original foi conduzido para receber superfícies refletoras leves, que não foram totalmente conseguidas. Sugere-se a pesquisa de soluções leves que permitam a fabricação de superfícies refletoras com boa qualidade ótica e durabilidade.

A estufa apresentou bons resultados dimensionais, sem dificultar os trabalhos junto aos coletores.

As simulações efetuadas para se encontrar o fator de interceptação dos coletores apresentaram bons resultados em termos de avaliação da qualidade ótica desses espelhos. O programa desenvolvido apresenta muitos recursos a serem explorados, como adiante comentado. Utiliza como dados de entrada que visam ser otimizados a posição inferior e superior dos espelhos, e apresenta duas formas de utilização: uma pela quantificação dos resultados obtidos, e outra pelo acompanhamento visual (em alta resolução) da evolução do programa. Os resultados das simulações permitem a avaliação dos espelhos e coletor, e permitem também a procura de melhoramentos a serem feitos nesses coletores.

As simulações feitas com os espelhos que se tinha e com a geometria do coletor construído, apresentaram fator de interceptação médio de 0,6, baixo quando comparado com o reportado pela bibliografia, na ordem de 0,8 a 0,95^[6]. A Figura 5.1 mostra a evolução do fator de interceptação do coletor testado, conforme Figura 3.7 (ampliada), para meio ângulo de aceitação, desde ângulo de incidência zero até fator de interceptação igual a zero.

O programa testado não considera alguns fatores que a seguir serão comentados, e que ficam como sugestão para futuros desenvolvimentos do programa:

a) o programa não considera a absorvância dos espelhos e a conseqüente energia absorvida;

γ - fator de interceptação
 θ - ângulo de incidência
 θ_c - ângulo de aceitação

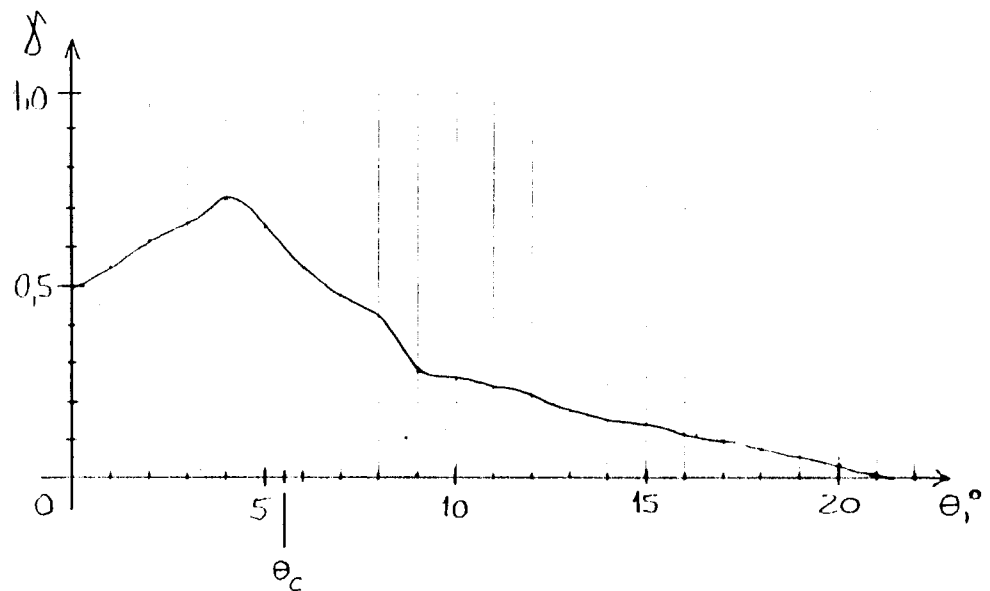


Fig. 5.1 - Evolução do Fator de Interceptação versus Ângulo de Incidência

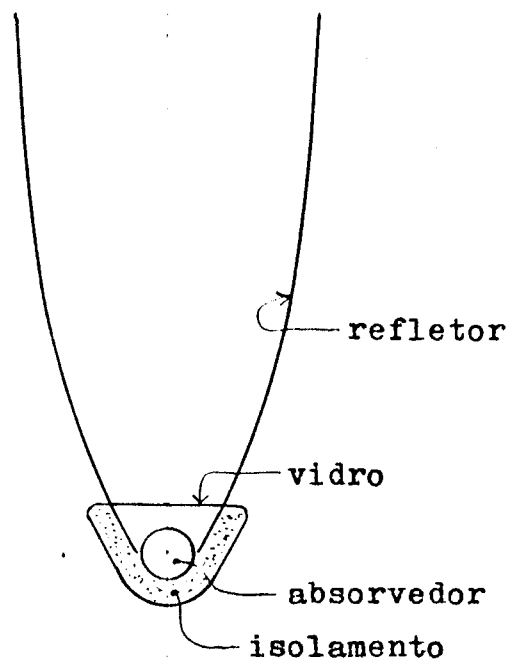


Fig. 5.2 - Coletor CPC com Absorvedor Circular, Cobertura em Vidro e Isolamento Térmico

b) o programa desconsidera os raios que chegam na cobertura do absorvedor com ângulo maior que 60° , e a energia que pode ser absorvida pela cobertura nesses casos;

c) o programa desconsidera os raios que passam pelo "gap" (espaço cobertura/absorvedor), e a energia que eles dissipam na cobertura;

d) o programa desconsidera os raios que chegam no absorvedor com ângulo maior que 60° e a energia absorvida;

e) o programa desconsidera a energia refletida nos casos em que os raios chegam no absorvedor com ângulo menor que 60° .

Estas considerações deverão modificar o cálculo do fator de interceptação.

Outra conclusão que traz o programa e que fica como sugestão é a procura de um melhor aproveitamento dos raios que circulam pelo "gap", através de alguma solução a ser tomada na parte inferior da cobertura, tipo pintura com reflexão difusa ou outra que apresente melhores resultados, e que podem ser testadas no programa.

A análise dos resultados do programa em relação ao problema acima traz também outra solução para um coletor CPC com absorvedor circular, que está apresentado na Figura 5.2. Fica como sugestão a simulação deste tipo de coletor com o programa e cálculo do seu fator de interceptação.

O programa de testes de coletores baseia-se no uso de espelhos formados por segmentos de retas, porque não foi encontrada uma forma de se achar a equação exata de um espelho com defeito de curvatura, e que permitisse, como dado inicial, a mudança do ângulo de abertura dos espelhos e da posição na canaleta de fixação. Fica como sugestão a procura de uma forma de

operacionalizar o programa com espelhos contínuos.

Em relação ao equipamento de refrigeração por absorção foram feitos diversos testes de funcionamento com o sistema operando com energia elétrica, pois até a época de testes não estavam disponíveis os espelhos dos coletores. Estes testes foram feitos com duas finalidades: primeiro, a de conhecer a evolução termodinâmica teórica do ciclo, utilizando-se para isso da bibliografia existente e dos resultados dos testes, e segundo a de obter medições do sistema para utilização em cálculos de rendimento e das quantidades de energia utilizadas.

A operação do ciclo foi efetuada com bons resultados, obtendo-se uma boa relação entre os dados bibliográficos teóricos e a evolução real do sistema em operação. Não se procurou entrar a fundo nos processos químicos existentes no ciclo de absorção, mas atendo-se somente a balanços energéticos globais dos processos existentes. Algumas discrepâncias existentes nos cálculos energéticos feitos poderiam talvez ser explicados por uma análise mais aprofundada dos processos químicos existentes, o que fica como sugestão para futuros trabalhos.

As medições experimentais mostraram que o sistema cumpre sua determinação nominal, que é a de produzir 100 kg de gelo por dia. Os cálculos energéticos teóricos, como acima comentado, apresentaram algumas diferenças, ou pela razão acima citada, ou por erros de leitura gráfica ou por simplificações que os cálculos teóricos consideram em relação aos processos e equipamentos reais. As diferenças porém não foram tão discrepantes a ponto de invalidar os resultados obtidos. É possível se fazer uma análise mais criteriosa, principalmente em relação às perdas de energia existentes nos processos e equipamentos reais, tentando diminuir as diferenças, o que fica como sugestão.

O sistema como atualmente funciona dissipa razoável quantidade de calor para o exterior, nas fases de resfria-

mento e absorção. Para melhorar o rendimento do sistema deve-se procurar utilizar esta energia, armazenando em tanque de sal fundente, por exemplo. Outra aplicação a ser dada a essa energia, e que deve ter calculada sua validade, é a utilização desta na manutenção da estufa e seus componentes (coletor com sua cobertura, mancais, absorvedor e óleo térmico) aquecidos ao longo das fases de resfriamento e absorção, que no período de testes foi das 18,00 horas até às 9,00 horas do dia seguinte.

Na operação do equipamento, os dispositivos de expansão existentes mostraram-se inefetivos para a aplicação, necessitando-se a modulação de uma válvula abre/fecha destinada à manobra do sistema. Sugere-se a adoção e teste de uma válvula de expansão manual do tipo agulha, o que deverá apresentar melhores resultados práticos.

No anexo III são fornecidas as dimensões dos trocadores de calor. Estas dimensões, em conjunto com as quantidades de calor trocadas, permitem o cálculo dos coeficientes de troca de calor dos equipamentos, que poderão ser utilizados para futuros dimensionamentos de equipamentos semelhantes. Esses coeficientes poderão ser também comparados com o resultado de cálculos teóricos destes mesmos coeficientes. Estas análises ficam como sugestão para trabalhos futuros.

BIBLIOGRAFIA

Referências Bibliográficas

- 1 CORBELLA, O. D., GARIBOTTI, C. R. Comments About the Comparison between a Conventional and Solar Powered Absorption Refrigeration Systems. ICTP, Internal Report, Trieste, 1983.
- 2 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR - CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Fundamentals. Atlanta, Georgia, 1985.
- 3 SALVADORETTI, J. L. Modelo Matemático para Análise do Desempenho Térmico de Coletores Solares Cilindro-Parabólicos. Dissertação de Mestrado, PPGEEMM, UFRGS, Porto Alegre, 1983.
- 4 PACHECO, J. L. Cálculo do Desempenho Térmico de um Coletor Solar Concentrador Semifixo. Dissertação de Mestrado, PPGEEMM, UFRGS, Porto Alegre, 1984.
- 5 WINSTON, R., HINTERBERGER, H. Principles of Cylindrical Concentrators for Solar Energy. Solar Energy, Vol. 17, England, 1975.
- 6 DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, New York, 1980.
- 7 RANNELS, J. E. Overview of DOE R&D Program on Concentrating Collectors for Solar Thermal Power Applications. ERDA Conference on Concentrating Solar Collectors, Atlanta, Georgia, 1977.
- 8 TREYBAL, R. E. Mass-Transfer Operations. International Student Edition, 1980.
- 9 MELLO, P. B. Produção de Gelo a partir da Radiação Solar, empregando o sistema Água-Amônia como Absorvente-Refrigerante. Dissertação de Mestrado, PPGEEMM, UFRGS, Porto Alegre, 1980.
- 10 STOECKER, W. F. Refrigeración y Acondicionamiento de Aire. McGraw-Hill, Mexico, 1977.

Bibliografia Consultada

- 11 ERDA Conference on Concentrating Solar Collectors - Solar Concentrating Collectors. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 1977.
- 12 RABL, A. Optical and Thermal Properties of Compound Parabolic Concentrators. Solar Energy, Vol.18, England, 1976.
- 13 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR - CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Equipment. Atlanta, Georgia, 1983.
- 14 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR - CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Systems. Atlanta, Georgia, 1984.
- 15 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR - CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Applications. Atlanta, Georgia, 1982.
- 16 PERRY, R.H., CHILTON, C.H. Manual de Engenharia Química. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.
- 17 VAN WYLEN, G.J., SONNTAG, R.E. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. Edgard Blücher, São Paulo, 1976.
- 18 KREITH, F. Princípios da Transmissão de Calor. Edgard Blücher, São Paulo, 1977.
- 19 STEINBRUCH, A., BASSO, D. Elementos de Geometria Analítica Plana. Sagra, Porto Alegre, 1982.
- 20 EDITELE. Manual de Operação e Linguagem, CP 400 Color. São Paulo, 1984.
- 21 PACHECO, J.L., CORBELLA, O.D. Anais do I Encontro Nacional de Ciências Térmicas (ENCIT 86), Rio de Janeiro, 1986.

Anexo I - Detalhamento de Engenharia do Sistema Solar

A seguir serão relacionados todos os componentes do sistema solar, com os números que aparecem nos desenhos anexos, nome, quantidades, dimensões, materiais e um comentário sobre a participação destes componentes no projeto

Nº 1) Tubo de Torque

1 por coletor

8 por estufa

Diâmetro externo: 101,6 mm

Parede: 2,25 mm

Comprimento: 6 metros

Material: Aço - Carbono

O tubo de torque tem como principal função a estruturação e suporte dos componentes do coletor. É sua função também transmitir o torque de movimentação ao longo de todo o coletor, de onde vem seu nome. Foi definido na forma circular por ser esta a forma que melhor resiste aos esforços de flexo-torção, típico da aplicação. Foi dimensionado como uma viga sujeita à flexão, admitindo-se uma flexa de $1/360$ vezes o vão suspenso, no caso 3 000 mm. Escolheu-se, como solução mais econômica, tubos leves feitos em chapas de aço cilindradas e unidos por solda contínua, tipo "eletroducto".

Nº 2) Braço

8 por coletor e 64 por estufa

Ferro Quadrado 30x30mm

Parede: 2,25 mm

Comprimento: 1 000 mm

Material: Aço-Carbono

Os "braços" dos coletores tem como função suportar as bordas externas dos espelhos refletoras (as bordas internas são suportadas pelos mancais, como será visto mais tarde). Escolheu-se tubos quadrados fechados porque esta forma tem boa resistência à flexo-torção e permite a colocação de parafusos para a fixação dos espelhos. Os "braços", em número de um por espelho e 8 por coletor, fo

ram soldados em "V" nos tubos de torque, com ângulo de 30° entre eles. Junto a fixação dos braços no tubo de torque foram colocados reforços para melhor distribuir o esforço dos "braços" ao tubo de torque.

Nº 3) Fixação (ou Biela)

8 por coletor e 64 por estufa

Ferro redondo \varnothing 3/8" x 900 mm

Material: Aço Carbono

A solução de colocar o absorvedor concêntrico ao centro de giro obrigou a colocação do tubo de torque fora deste centro, distanciado pelo elemento em análise, as bielas. Estas foram feitas em materiais de baixo custo, ferro redondo comum, de construção. No desenho CP-04, Cota L9, pode-se observar que os dois mancais aéreos tem uma biela cada, e que os três mancais suportes duas bielas cada. Estas bielas duplas tem como função fixar o movimento axial dos coletores em relação aos pilares suportes, bem como melhor descarregar o peso dos coletores nos mancais móveis.

Nº 4) Espelhos Refletores

8 por coletor e 64 por estufa

Dimensões: 750 x 1477 mm

Foco: 32,87 mm

X e Y inicial: 67 e 34 mm

X e Y final: 309 e 726 mm } (Ver Ref. 4)

Material: Vidro Curvado Espelhado

São espelhos parabólicos compostos truncados, com ângulo de aceitação de mais ou menos 5,5°. É atualmente a maior dificuldade de obtenção do sistema, tendo em vista a necessidade de uma ótima qualidade ótica, o que apresenta uma certa dificuldade para a sua fabricação*. Também deve-se pesquisar soluções mais leves, para tirar-se proveito da já citada existência da estufa.

(* Entenda-se aqui em escala industrial, conforme abjetivos do projeto.)

Nº 5) Pilar Pequeno

3 por coletor baixo

12 por estufa


Perfil:  25 x 50 mm

Comprimento Perfil: 590 mm

Espessura: 3 mm

Altura Pilar: 395 mm

Material: Aço Carbono

Os Pilares foram feitos em perfis  feitos em chapa de aço 3mm. Internamente receberam nervuras de reforço, que não aparecem nos desenhos em anexo. Suportam as filas F1 e F3, filas baixas.

Nº 6) Sapata

3 por coletor

24 por estufa

Dimensões: 230 x 100 mm

Espessura: 3 mm

Material: Aço Carbono

As sapatas tem como função fixar os pilares e distribuir a pressão dos pilares em todos os parafusos de fixação.

Nº 7) Reforço Sapata

3 por coletor

24 por estufa

Dimensões:  180 x 100 mm

Espessura: 3mm

Material: Aço Carbono

Tem como função melhor distribuir o esforço do pilar em toda a sapata.

Nº 8) Reforço dos Braços

4 por coletor

32 por estufa

Dimensões Médias: 50 x 100 mm

Espessura: 3 mm

Material: Aço Carbono

Tem como função distribuir os esforços no ponto de fixação dos "braços" no tubo de torque.

Nº 9) Reforço Fixação (opcional)

6 por coletor

48 por estufa

Ferro Redondo \varnothing 3/8" x 270 mm

Material: Aço Carbono

Tem como função reforçar as bielas quanto o possível movimento relativo entre mancal e tubo de torque. Durante a fabricação e testes preliminares dos coletores chegou-se a conclusão que esses reforços não seriam necessários e foram retirados dos coletores atuais.

Nº 10) "Bolacha" (Fixação dos Espelhos)

8 por coletor

64 por estufa

Diâmetro "bolacha": 70 mm

Comprimento parafuso: 80 mm

Material "bolacha": Nylon Technyl

Material parafuso: Aço Carbono

Tem como função fixar os espelhos nos "braços" através de colas, tipo borracha silicone. Experiência prévia no sistema produtor de vapor mostrou não ser esta uma boa solução para a fixação dos espelhos. Deve-se mudar esta solução para uma fixação mecânica direta e eliminação de cola. As "bolachas" ou seus equivalentes sempre deverão permitir a regulagem da posição e aberturas dos espelhos com cota nominal de 422 mm (Ver desenho CP-01, Cota

J14). A otimização desta abertura será encontrada com a simulação em microcomputador feita no Cap. 3, procurando-se otimizar o fator de interceptação γ dos coletores.

Nº 11) Fixação Braço (Opcional)

4 por coletor

32 por estufa

Dimensões: \varnothing 100 mm x 315 mm

Espessura: 3 mm

Material: Aço Carbono

No local de fixação dos "braços" no tubo de torque definiu-se na época de projeto, um "encamisamento" do tubo de torque, para duplicar a espessura deste na zona de solda e aumentar o esforço ao esmagamento, possivelmente causado pelo peso dos espelhos atuando nos "braços". Também durante a fabricação e testes preliminares dos coletores optou-se pela eliminação deste item.

Nº 12) Fixação Sapata

3 por coletor

24 por estufa

Espaçamento parafusos: 165 x 62 mm

Comprimento parafusos: 100 mm

Diâmetro parafusos: 1/2"

Material: Aço Carbono

Tem como função fixar as sapatas dos pilares metálicos nos pilaretes de concreto da estufa. O distanciamento dos parafusos é

o mesmo dos furos da sapata, permitindo a montagem através de porcas. Como é colocado uma porca embaixo e uma encima da sapata, e existe total flexibilidade, na montagem, do posicionamento dos pilares. Esta fixações foram fundidas junto com os pilaretes na época de construção de estufa.

Nº 13) Canaleta Espelho

16 por coletor

128 por estufa

Perfil: [] 10 x 10 mm

Parede: 1,25 mm

Comprimento: 50 mm

Material: Aço Carbono

Tem como função a fixação inferior dos espelhos, já que a superior será feita pelos "braços". Com isso, cada espelho é fixado em três pontos, em duas canaletas e num "braço". Essas canaletas são unidas por solda nos mancais, uma num mancal suporte (Números 19 ou 20) e outra num mancal aéreo (Nº 21). Como não foi possível a fabricação do perfil inicial com 10 x 10 mm e sim um perfil com 15 mm de base e 10 mm de altura, isso trouxe uma nova variável de posicionamento dos espelhos ao longo da Cota 15mm das canaletas. A posição otimizada dos espelhos será mostrada no Cap. 3 através de simulação de funcionamento em Microcomputador, procurando-se otimizar o fator de interceptação γ dos coletores.

Nº 14) Tampão Tubo Torque

2 por coletor

16 por estufa

Diâmetro: 101 mm

Espessura 3 mm

Material: Aço Carbono

Tem como função fechar o tubo de torque nas suas extremidades. Originariamente seria soldado, mas para facilidades de montagem e acesso foi flangeado nas extremidades do tubo, sendo necessário um aumento do diâmetro dos tampões para seus diâmetros atuais.

Nº 15) Fixação Ponta Tubo Torque

2 por coletor

16 por estufa

Dimensões: 50 x 150 mm

Espessura: 3 mm

Material: Aço Carbono

Como os tubos de torque tem dimensão de fabricação de 6000 mm^{*}, e essa é a dimensão centro a centro dos mancais, e como as bielas externas estão além dos centros dos mancais, foi necessário prolongar os tubos de torque em 50 mm, 25 em cada extremidade, através dessas fixações.

Nº 16) Absorvedor

1 por coletor

8 por estufa

Diâmetro interno: 34 mm

Diâmetro externo: 42 mm

(* Dimensão comercial)

Comprimento: 6.150 mm

Material: Aço Carbono

Tem como função receber externamente a radiação solar concentrada, e transferir ao óleo térmico que circula internamente, tendo para isso pintura externa em preto fosco. O seu diâmetro externo (42 mm) é um pouco menor que o foco original do coletor (60 mm). A forma com que a radiação é recebida e seu consequente fator de interceptação será encontrada no Cap. 3.

Nº 17) Cobertura do Absorvedor

4 por coletor

32 por estufa

Diâmetro interno: 57 mm

Diâmetro externo: 61 mm

Comprimento: 1445 mm

Material: Vidro Tubular

Tem como função diminuir as perdas de calor desde o absorvedor até o ambiente interno da estufa. Sua dimensão externa (61 mm) é pouco maior que o foco dos coletores (60 mm). É fixada nos coletores através de braçadeiras presas na canaleta do espelho (peça nº 13). Após a montagem as frestas de 2,5 mm de montagem (desenho CP-01, Cotas N/0 - 6/7) devem ser vedadas com material transparente. A simulação do Cap. 3 verificará a vantagem ou não de espelhar a parte inferior da cobertura, ou a vantagem ou não de se colocar um refletor adicional de radiação.

Nº 18) Fixação Cobertura Absorvedor

8 por Coletor (atual)

64 por estufa (atual)

Material: fita metálica aço inoxidável

O projeto original previa grampos metálicos parafusados. Durante a fabricação e testes preliminares, optou-se pela modificação, de grampos para fita, que prendam a cobertura do absorvedor nas canaletas do espelho.

Nº 19) Mancal Móvel Central

1 por coletor

8 por estufa

Diâmetro interno: 50 mm

Diâmetro externo: 61 mm

Comprimento: 70 mm

Material: Aço Carbono

Tem as seguintes funções:

- a) Receber o peso do tubo de torque através das fixações (bielas);
- b) Transmitir este peso ao mancal fixo;
- c) Suportar interna e centradamente o absorvedor;
- d) Suportar externamente os espelhos refletores
- e) Suportar externamente a cobertura do absorvedor

É uma peça chave na solução tomada de absorvedor fixo, apresentando, conforme acima, 5 funções importantes. Tem seu diâmetro externo igual ao da cobertura do absorvedor. Em movimentação tem atrito externo com o mancal fixo e interno com o tubo absorvedor.

Nº 20) Mancal Móvel Externo

2 por coletor

16 por estufa

Diâmetro interno: 50 mm

Diâmetro externo: 61 mm

Comprimento: 60 mm

Material: Aço Carbono

Tem as funções e movimentação do mancal móvel central, sendo porém mais curto porque recebe espelhos e cobertura do absorvedor somente por um lado, o lado interno do coletor.

Nº 21) Mancal Aéreo

2 por coletor

16 por estufa

Diâmetro interno: 50 mm

Diâmetro externo: 61 mm

Comprimento: 30 mm

Material: Aço Carbono

Tem as seguintes funções:

- a) Suportar interna e centradamente o absorvedor
- b) Suportar externamente os espelhos refletores
- c) Suportar externamente a cobertura do absorvedor
- d) Descarregar o peso desses equipamentos ao tubo de torque através da fixação (biela) existente.

Este mancal tem função de suportar os equipamentos acima citados de uma forma intermediária aos mancais central e externo, esses sim apoiando-se nos pilares metálicos. Por contar com apenas uma fixação (biela) pode ser de menos comprimento em relação aos anteriores.

Nº 22) Bucha Mancal Fixo

3 por coletor

24 por estufa

Forma: U

Dimensão interna: 61 mm

Dimensão externa: 72 mm

Espessura: 25 mm

Material: Aço Carbono

Tem como função receber os mancais móveis e o peso do coletor, transmitindo este peso aos pilares. Tem forma de U para facilitar a montagem e desmontagem dos coletores. Deve ser lubrificado com graxa para facilitar o giro dos coletores.

Nº 23) Mancal Fixo

3 por coletor

24 por estufa

Dimensões: Comprimento: 140 mm

Altura: 65 mm

Largura: 25 mm

Espessura: 4,5 mm

A bucha do mancal fixo anteriormente descrita é soldada neste mancal, e este é parafusado nos pilares metálicos, estando pronto então para receber os coletores.

Nº 24) Parafuso Mancal Fixo

6 por coletor

48 por estufa

Dimensões: \varnothing 8 mm x 30 mm

Tem como função fixar os mancais nos pilares metálicos. Devem permitir algum ajuste de posição dos mancais.

Nº 25) Bucha Technyl Absorvedor

5 por coletor

40 por estufa

Dimensões: Diâmetro interno: 42 mm

Diâmetro externo: 50 mm

Largura: 25 mm

Material: Nylon Technyl

Tem como função suportar e centrar o tubo absorvedor, que se aloja em seu interior, transmitindo o peso deste ao mancal móvel, onde a bucha é fixada. Tem as bordas chanfradas em 45º para permitir a introdução dos tubos absorvedor.

Nº 26) Tirante "Braços"

4 por coletor

32 por estufa

Material: Ferro redondo \varnothing 3/8"

Comprimento: 120 mm

Material: Aço Carbono

Tem como função aumentar a resistência dos "braços" que suportam os espelhos. Durante a fase de produção e testes iniciais dos coletores chegou-se a conclusão de que não seriam necessários e foram retirados. Porém, se os testes com espelhos exigirem, poderão ser colocados a qualquer momento.

Nº 27) Luva Absorvedor

4 por estufa

Dimensão: Diâmetro: 42 mm

Comprimento: 40 mm

Material: Aço Galvanizado

Tem como função unir os absorvedores dos dois coletores , que constituem uma fila. Os absorvedores, com os coletores já posicionados em seus lugares, são introduzidos pelas extremidades da estufa, e após são interligados por esta luva.

Nº 28) Curva Absorvedor

1 por coletor

8 por estufa

Dimensões: Diâmetros: 42 mm x 3/4"


Material: Aço Carbono

O diâmetro do absorvedor é 42mm, e da tubulação de óleo 3/4", sendo a curva de saída do coletor responsável pela transformação de diâmetro. A curva foi colocada na saída do coletor para permitir a dilatação térmica do absorvedor, entre o comprimento a frio e a quente.

Nº 29) Pilar Grande

3 por coletores altos

12 por estufa

Perfil:  25 x 50 mm

Espessura: 3mm

Altura Pilar: 435 mm

Comprimento Perfil: 590 mm

Material: Aço Carbono

São semelhantes aos pilares pequenos (nº5) porém com maior altura, suportando as filas grandes, F2 e F4.

Nº 30) Reforço Pilar

3 por coletor

24 por estufa

Dimensões:  150 x 85 mm

Espessura: 3mm


Material: Aço Carbono

Foi previsto na época de projeto um reforço para a parte superior do pilar. Também durante a fabricação e testes iniciais chegou-se a conclusão que eles poderiam ser dispensados, tendo em vista também a colocação das nervuras internas de reforço.

Nº 31) Refletor de Radiação

4 por coletor

32 por estufa

Dimensões:  9 x 9 x 1440 mm

Material: Aço inoxidável

O projeto previu a colocação de refletor de radiação entre a cobertura e o absorvedor, para refletir para o absorvedor a eventual radiação que por ali passe, tendo em vista a diferença dimensional entre o foco nominal de projeto (60mm) e o real(42mm) A necessidade ou não será mostrada pela simulação apresentada no Cap. 3.

Nº 32) Areia

1 volume por coletor

8 volumes por estufa

Dimensões: Diâmetro: 97 mm

Comprimento: 6050 mm

Volume: 0,4 m³ por estufa

A areia tem como função fazer o balanceamento dos coletores, já que possivelmente os espelhos, por serem pesados, deslocam o centro de gravidade para cima do centro de giro, tornando

instáveis os coletores, principalmente nas posições de inverno. O balanceamento dos coletores será feito com areia colocada dentro do tubo de torque, abrindo-se os seus tampões.

Nº 33) Gaxeta Espelhos

32 por coletor

256 por estufa

Dimensões: 2 x 8 x 50 mm

Material: Borracha

Tem como função fazer a fixação dos espelhos nas canaletas próprias para a fixação dos espelhos.

Nº 34) Pilarete Baixo Simples

2 por coletor baixo (F1 e F2)

8 por estufa

Dimensões: 150 x 300 x 000 mm

Material: Concreto

As duas filas iniciais F1 e F2 devem ter seus pilares rente ao chão, e os parafusos de fixação das sapatas (peça nº 12) foi chumbada rente ao piso, em pilarete com cota 000 mm de altura. O pilarete foi chamado de simples pois recebe uma só sapata, a central e a externa dos coletores.

Nº 35) Pilarete Alto Simples

2 por coletor alto (F3 e F4)

8 por estufa

Dimensões: 150 x 300 x 350 mm

Material: Concreto

As duas filas finais F3 e F4 necessitam de pilaretes altos, com 350 mm de altura, onde foram chumbados os parafusos de fixação das sapatas.

Nº 36) Alicerce Paredes

2 por estufa

Dimensões: 250 x 400 x 13350 mm

Material: Pedra de Alicerce e Cimento

As paredes norte e sul da estufa, por suportarem a cobertura, foram construídas sobre alicerces, para melhor distribuição do peso da cobertura e própria paredê.

Nº 37) Parede Norte

1 por estufa

Dimensões: 100 x 620 x 13350 mm

Material: Tijolo furado

A parede norte foi definida quando da análise da movimentação dos coletores entre inverno/verão. Para diminuição de custos foi construída com tijolos furados, 100mm de espessura, e sem reboco interno ou externo.

Nº 38) Parede Sul

1 por estufa

Dimensões: 100 x 1590 x 13350 mm

Material: Tijolo Furado

A parede sul também foi definida pela análise da movimentação dos coletores entre inverno e verão. Por ser uma parede mais alta foi feita estruturada em pilares de concreto com ferro. Como solução econômica foi também feita em tijolo furado sem reboco.

Nº 39) Brita

1 volume por estufa

Dimensões: 3900 x 13150 x 25 mm

A brita foi utilizada como contra-piso interno de estufa e como piso externo da estufa próximo às portas de circulação

Nº 40) Treliza Cobertura

12 por estufa

Dimensões: 1130 x 2860 x 760 x 150 mm

Material: Fe. Cantoneira 1" x 1" x 1/8"

Fe. Redondo Diâmetro 1/2"

Fe. Redondo Diâmetro 3/8"

Aço Carbono

As treliças de cobertura foram dimensionadas partindo-se da movimentação dos coletores, por onde chegou-se às suas dimensões externas. Foram definidas também levando-se em conta a necessidade de apresentarem o menor sombreamento possível para os coletores,

menos peso e menos custo. Chegou-se então a solução de treliças em cantoneira e ferro redondo, atendendo os requisitos anteriores.

Nº 41) Travessa Cobertura

14 por estufa

Dimensões: Comprimento Total: 4750 mm

Largura: 25 mm

Espessura: 2mm

Material: Aço Carbono

Tem como função fixar os vidros da cobertura nas treliças, através de parafusos. São divididas em 4 peças por treliça, já que os vidros também são em número de quatro ao comprimento da treliça.

Nº 42) Tirante Cobertura

6 por estufa

Dimensões: Fe.Redondo Diâmetro 3/16"

Comprimento: 13.350 mm

Material: Aço Carbono

As treliças são interligadas entre si por tirantes em ferro redondo, soldados nas treliças. Esse ferro redondo também foi utilizado para os contraventamentos em "X" existentes nas treliças.

Nº 43) Alicerce Portas

2 por estufa

Dimensões: 100 x 150 x 3980 mm

Material: Concreto

Junto às paredes Este/Oeste foram feitos pequenos alicerces para receberem as respectivas paredes e servirem de arrimo para o piso.

Nº 44) Porta Grande c/Dobradiça

2 por estufa

Dimensões: 1000 x 1650 mm

Materiais: Perfil L 1" x 1" x 1/8"

Perfil T 3/4" x 1/8"

Chapa de Aço Carbono

Foram colocadas portas nas fachadas Este/Oeste com 3 funções:

- a) Permitir acesso à estufa
- b) Permitir, quando abertas, ventilação da estufa
- c) Permitir manuseio dos absorvedores das filas F2 e F3.

Nº 45) Porta Pequena c/Dobradiça

- Não utilizada no projeto -

Nº 46) Ferragem Fechamento - Calço Metálico

Foram utilizados diversos calços metálicos na montagem da cobertura da estufa, para fixar os vidros ou as travessas da cobertura.

Nº 47) Cobertura

1 por estufa

Dimensão total: 4750 x 13350 mm

Material: Vidro 4 mm

A estufa foi coberta por placas de vidros 4mm, cortadas visando otimizar o aproveitamento dos tamanhos iniciais das placas de vidro. Resultou em 4 placas de vidros ao longo do comprimento das treliças.

Nº 48) Fechamento Lateral

2 por estufa

Dimensões: 4230 x 2055 mm

Material: Fe. Cantoneira 1" x 1" x 1/8"

Fe. Te 3/4" x 1/8"

Aço Carbono

As fachadas Este/Oeste da estufa também foram fechadas com vidros para permitir a entrada de sol nos horários de manhã/tarde. Foi prevista uma abertura para entrada/saída do absorvedor dos coletores da fila F4.

Nº 49) Arremate Cobertura

2 por estufa

Dimensão: Comprimento: 13350 mm

Material: Aço Galvanizado

As zonas terminais das treliças, onde estas apoiam-se nas paredes, não são cobertas por vidros, pois aí não passa radiação solar, sendo necessário a colocação de chapas metálicas para fechar a estufa.

Nº 50 e 51) Trinco e Cadeado Portas

As portas tiveram fechamento tipo "pitão", estando preparadas para receberem cadeados de fechamento.

Nº 52) Piso

1 por estufa

Dimensão: 3900 x 13150 x 25 mm

Material: Concreto

A estufa recebeu um piso de cimento para melhoria das condições de funcionamento.

Nº 53) Pilarete Baixo Duplo

2 por estufa

Dimensões: 300 x 300 x 000 mm

Material: Concreto

As duas filas iniciais baixas, F1 e F2, precisam pilaretes rente ao piso, de dimensão dupla no ponto de união de dois coletores, onde os pilares metálicos são duplos.

Nº 54) Pilarete Alto Duplo

2 por estufa

Dimensões: 300 x 300 x 350 mm

Material: Concreto

As duas filas altas, F3 e F4, precisam pilaretes alto, sendo elas duplos no local de união de dois coletores, conforme o item anterior.

Nº 55) Cobertura "Geladeira"

A "Geladeira", equipamento que recebe o calor solar e produz frio, foi coberta com telhas de fibro-cimento onduladas.

Nº 56) Pilar Cobertura "Geladeira"

No projeto inicial a cobertura da "Geladeira" seria sustentada por quatro pilares, solução que foi substituída por duas paredes este/oeste, com melhorias visuais do sistema.

Nº 57) Parafuso Fixação Vidros

12 por treliça

168 por estufa

Dimensão: 3 x 15 mm

Material: Aço Zincado

A travessa da cobertura que prende os vidros é fixada através de parafusos e porcas.

Nº 58) Paredes Este/Oeste

2 por estufa

Dimensões: 100 x 620 x 2980 mm

Material: Tijolo Furado

A estufa tem a parte inferior das fachadas este/oeste constituída em parede de tijolos furados, por ser melhor solução econômica. Também foi deixado acesso aos absorvedores dos coletores da fila Fl.

Nº 59 a 66) Não Utilizado no Projeto

Nº 67) "Geladeira"

Fabricada por uma indústria especializada em refrigeração, é analisada no capítulo 4.

Nº 68) Moto-Bomba Óleo-Água

O projeto original previa a instalação de um motor elétrico com duplo eixo e uma bomba em cada ponta do eixo, uma para água e outra para o óleo. Dificuldades construtivas levaram à solução atual, de duas bombas independentes. A análise das bombas é feita também no capítulo 4.

Nº 69) Tanque de Sal Isolado

O projeto preve a instalação de um tanque de sal fundente, para armazenar o calor de resfriamento do sistema e utilizar este calor na fase inicial de aquecimento. É solução a ser adotada no futuro, já que não foi instalado na fase atual do sistema.

Nº 70) Quadro Elétrico Bombas/Resistências

Foi instalado um quadro elétrico responsável pela atuação das bombas e resistência de aquecimento. Este quadro será analisado no Capítulo 4.

Nº 71 a 78) Material Óleo - Hidráulico

São canos, registros, reduções, uniões, isolamento, tes e curvas necessários para interligar a "geladeira" nos coletores solares.

Nº 79) Base Torre Resfriamento

Dimensões: 850 x 850 mm

Material: Concreto

Esta base tem como função fixar a torre de resfriamento de "geladeira". Recebeu um reforço adicional para aumentar sua resistência ao efeito das rajadas de vento na torre.

Nº 80) Resistência de Aquecimento

Quantidade: 2

Características Elétrica: Trifásica, 220V, 6000W

São resistências do tipo multi-tubular rosqueada, executada em tubo de aço. Tem como função permitir testes da geladeira mesmo sem a presença dos coletores solares.

Nº 81) Não utilizado no Projeto

Nº 82) Sal

Utilizado para obtenção da salmoura existente no evaporador. A salmoura foi feita com a proporção de 20 partes em peso de sal por 100 partes em peso de água.

Nº 83) Enfição Elétrica

Foi necessário se trazer energia elétrica desde o quadro de distribuição até a "geladeira".

Nº 84 a 86) Acessórios Óleo - Hidráulicos

Válvulas, niples e curvas necessários para o circuito de óleo.

Nº 87) Base de "Geladeira"

Dimensão: 1500 x 3350 x 150 mm

Material: Concreto

Foi feita uma base para assentamento da "geladeira" e construção do abrigo para esta "geladeira".

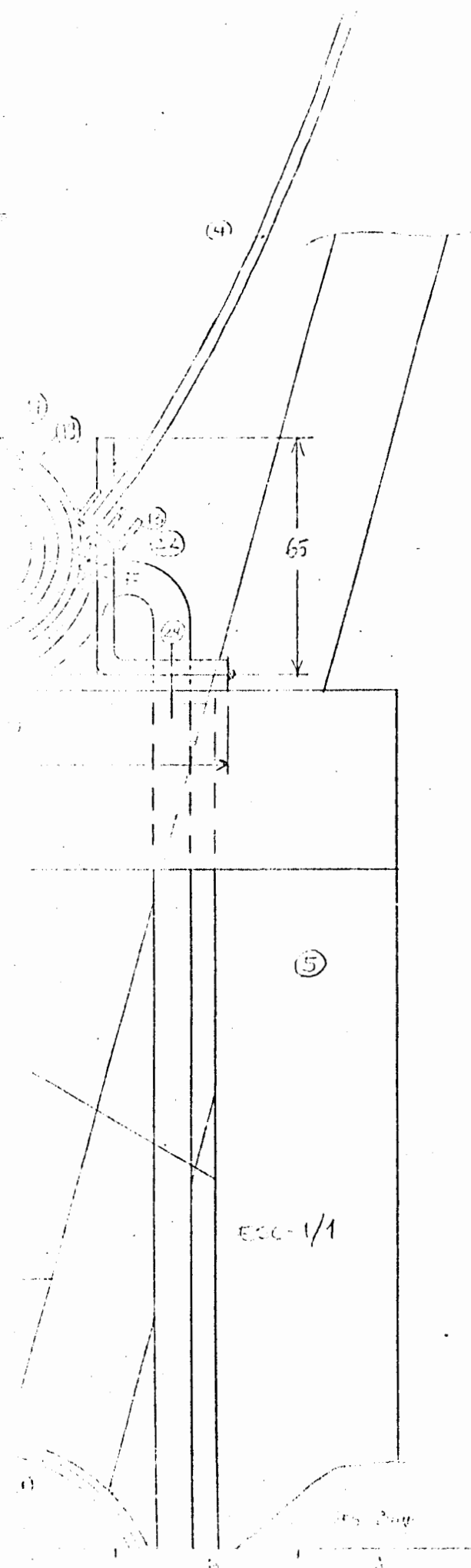
Nº 88) Sistema de Posicionamento

1 por coletor

8 por estufa

Quando da colocação dos espelhos e do balanceamento com areia, deverá ser definido um sistema para posicionamento e fixação angular dos coletores, segundo a trajetória diária do sol.

Esse posicionamento irá depender do peso real dos espelhos e do atrito efetivo dos mancais de apoio.



1
2
3
4
5
6
7
8
9

REVISÃO : 25/10/83 - AGO 86

PROJETO CONSOL
 COLETOR CONCENTRADOR CPC
 CORTE TRANSVERSAL E DETALHES MANCAL

ESC. - 1/1, 1/2	DIM - mm	DATA - 18/8/83	PROJ. - CS 02	DES. - CP 01
-----------------	----------	----------------	---------------	--------------

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
 GRUPO DE ENERGIA SOLAR
 AV. OSVALDO ARANHA 99, SALA 809 - FONE 248208 RAMAL 4 - PALEGRE - RS

Fig. I.1a - Desenho CP 01, Cotas A-C/1-9

C B A

Q2	Nome	Qt.	Dim.
01	Tubo Torque	2	101,60 x 2,25 x 6,000
02	Braco	14	75 x 25 x 2,25 x 1,000
03	Fixação	14	3/8 x 2,00
04	Espelho	04	150 x 111
05	Pilar Pequeno	12	125 x 50 x 3,0 x 550
06	Sapata	24	230 x 100 x 3,0
07	Reposo Sapata	24	6,110 x 1,00 x 3,0
08	Reposo Braco	32	50 x 100 x 3,0
09	Reposo Fixação	48	3/8 x 2,00
10	"Bolacha"	64	ø 70 x 8,0
11	Fixação Braco	22	100 x 2,15 x 3,0
12	Fixação Sapata	24	103 x 62 x 100 x ø 1/2"
13	Canalota Espelho	128	L 110 x 10 x 125 x 50
14	Tampão Tubo Torque	16	ø 101 x 3,0
15	Fixação Buta Tubo Torque	16	50 x 150 x 3,0
16	Absorvedor	8	ø 34 x ø 42 x 6,150
17	Cobertura Absorvedor	32	ø 57 x ø 61 x 1,445
18	Fixação Cobertura Absorv.	172	5 x 5 x 25
19	Mancal Movel Central	8	ø 50 x ø 61 x 70
20	Mancal Movel Extremo	16	ø 50 x ø 61 x 60
21	Mancal Alvo	16	ø 50 x ø 61 x 30
22	Bucha Mancal Fixo	24	ø 61 x ø 70 x 25 x U
23	Mancal Fixo	24	140 x 65 x 25 x 4,5
24	Parafuso Mancal Fixo	48	ø 8 x 30
25	Bucha Technyl Absorv.	40	ø 42 x ø 50 x 25
26	Travete Braços	32	ø 3/8 x 120
27	Lupa Absorvedor	4	ø 12 x 40
28	Curva Absorvedor	8	ø 42 x ø 3/4"
29	Pilar Grande	12	L 125 x 50 x 3,0 x 570
30	Reposo Pilar	24	L 150 x 55 x 3,0
31	Refletor Radiação	32	L 9 x 9 x 1,440
32	Areia	8	ø 97 x 6,050
33	Gaxeta Espelho	256	2 x 8 x 50

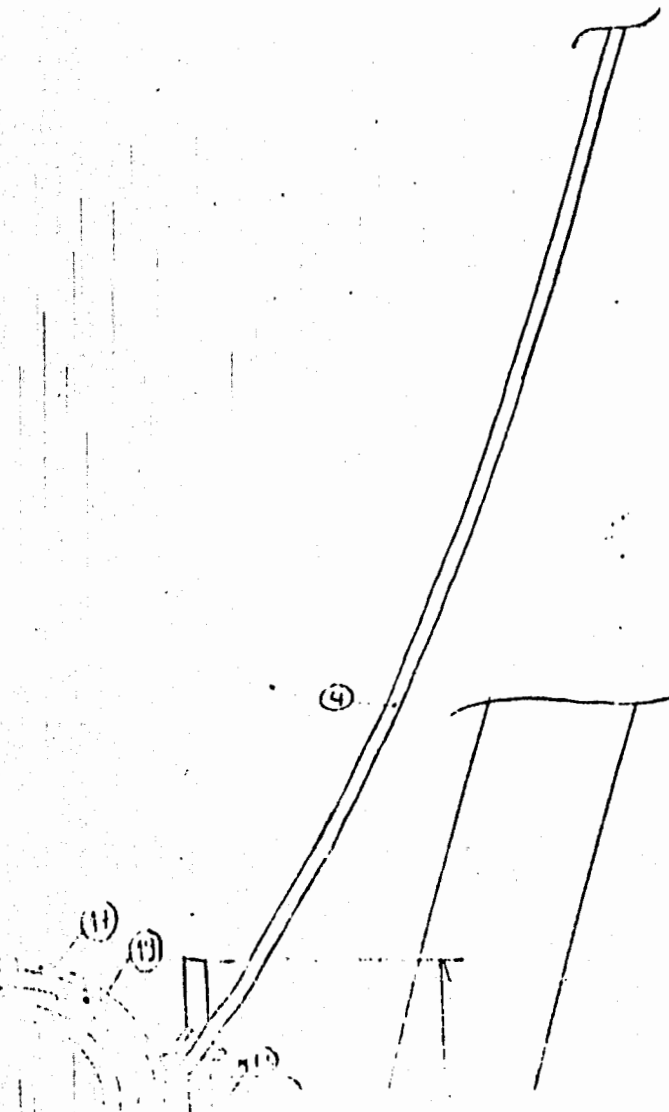
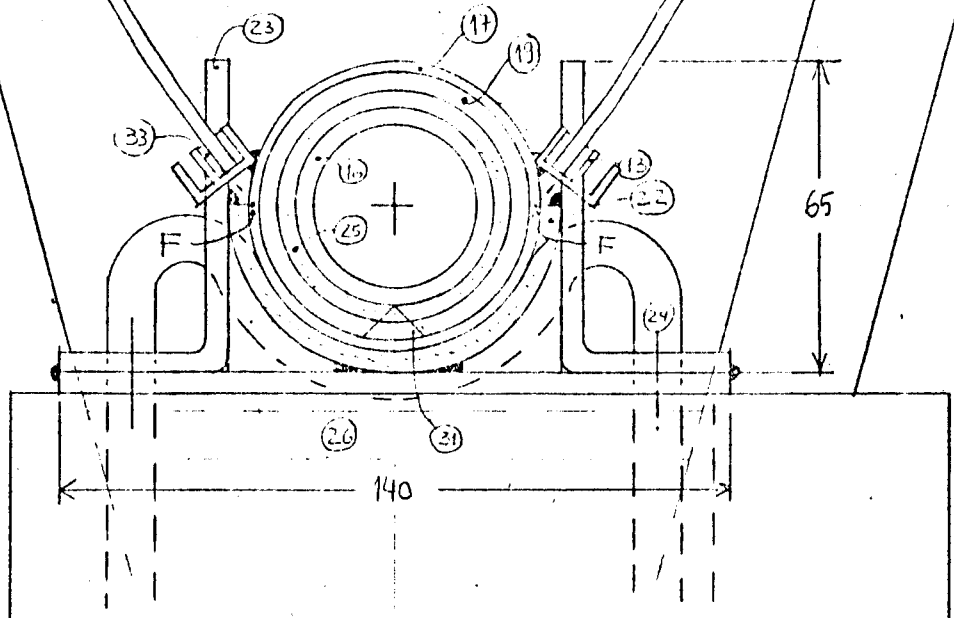


Fig. I.1b - Desenho CP 01, Cotas A-C/7-14

118 (1)
122 (2)

(2)

(4)



65

140

(5)
(6)

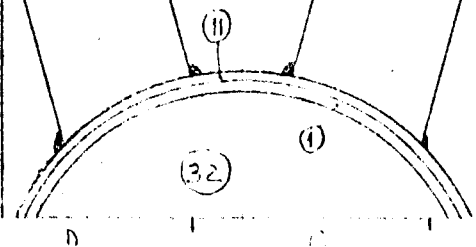
(30)

(5)

ESC-1/2

ESC-1/1

Fig.I.lc - Desenho CP 01,
Cotas A-G/1-9



Des. Eng.

D C H A

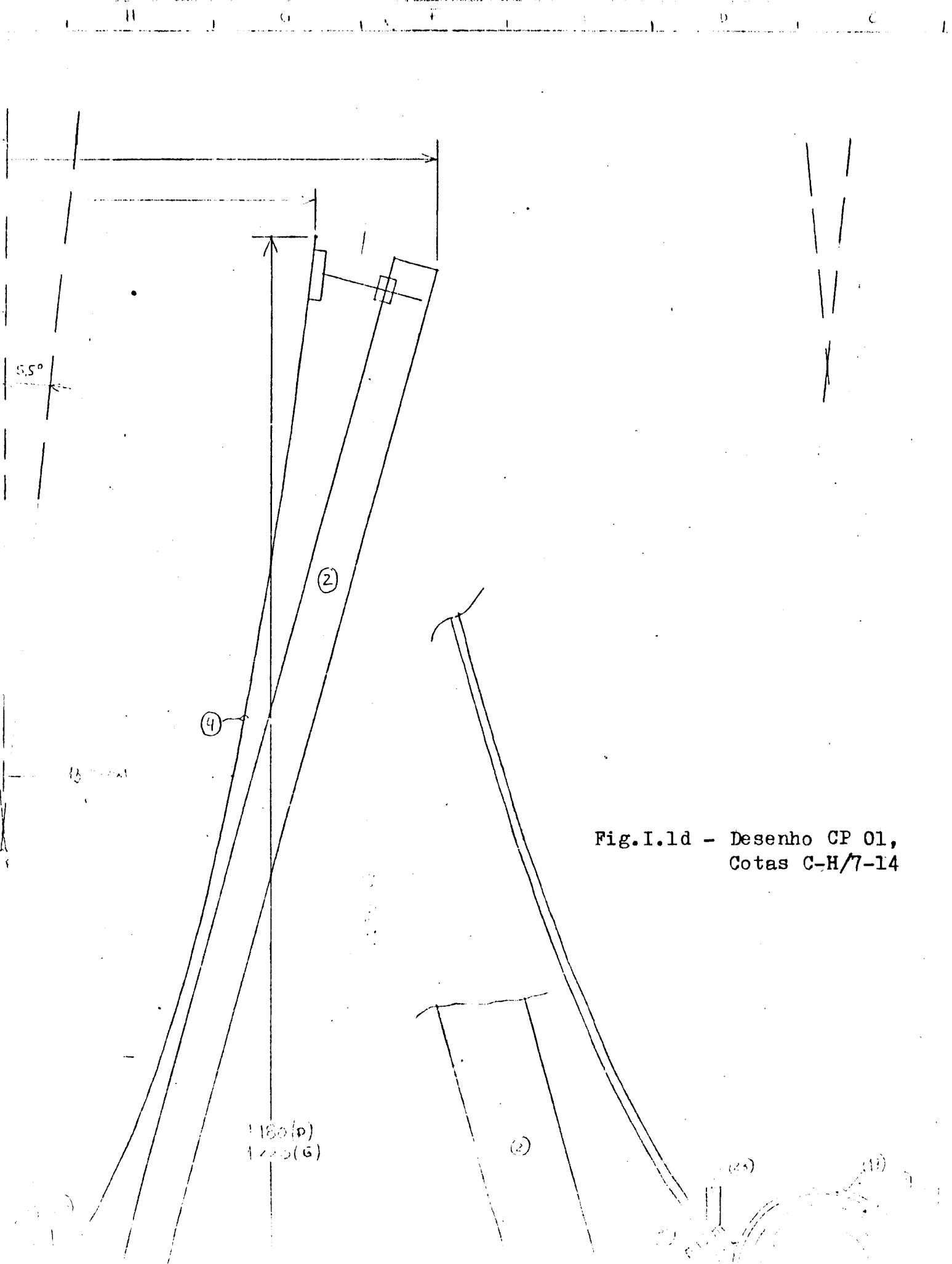


Fig.I.1d - Desenho CP 01,
Cotas C-H/7-14

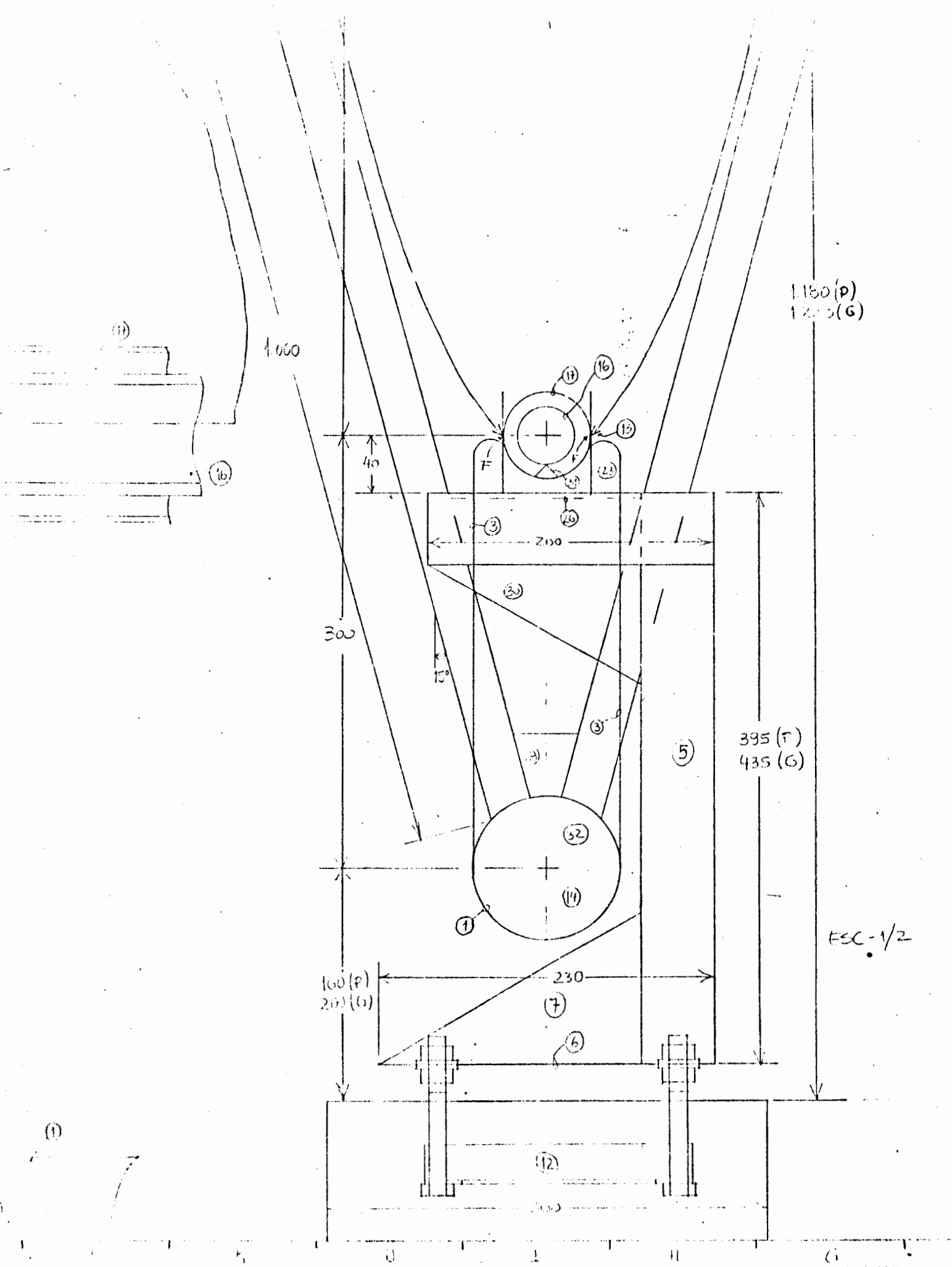


Fig.I.1e - Desenho CP 01, Cotas G-L/1-9

M

L

R

J

T

B

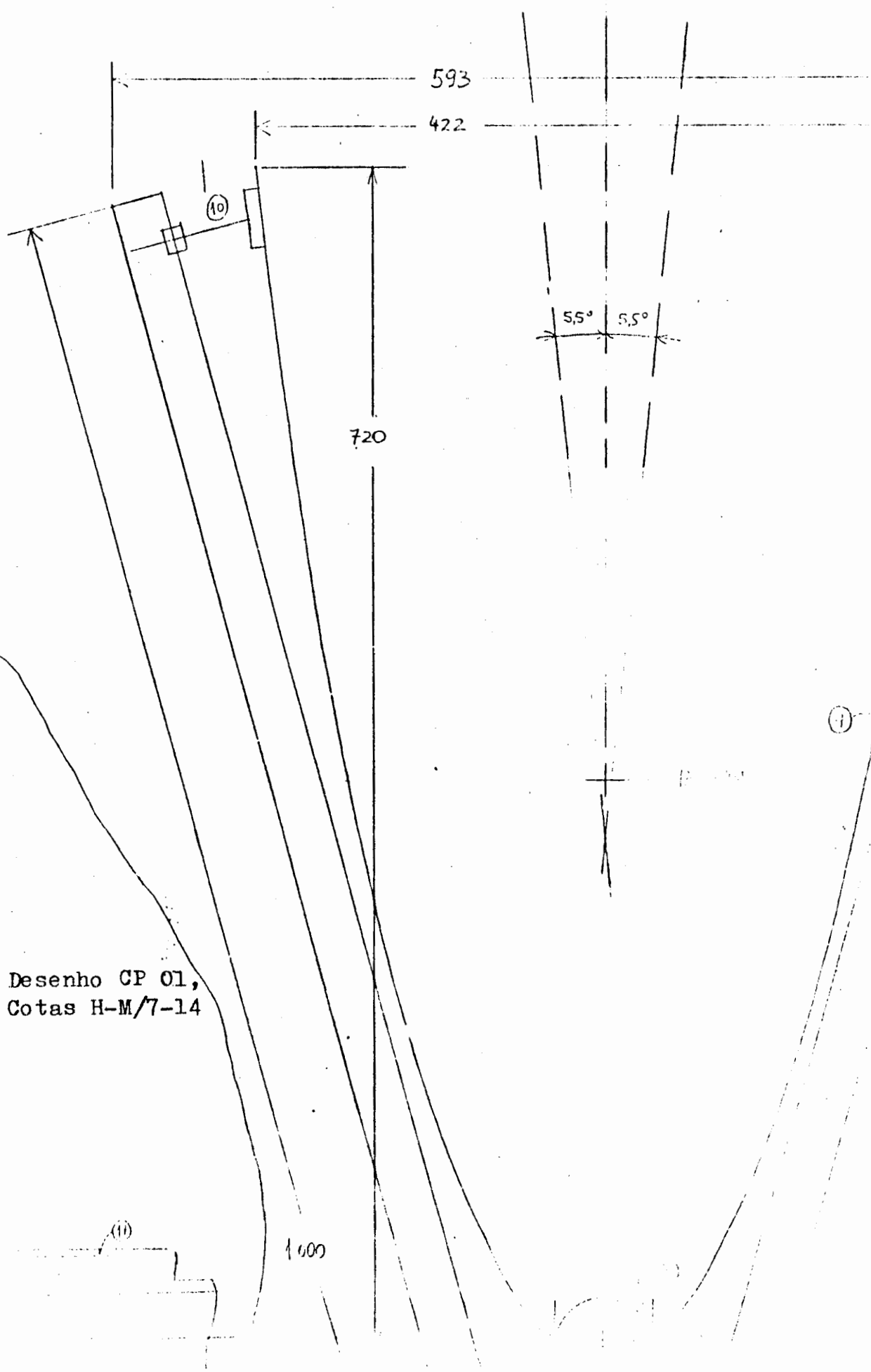


Fig.I.1f - Desenho CP 01,
Cotas H-M/7-14

1000

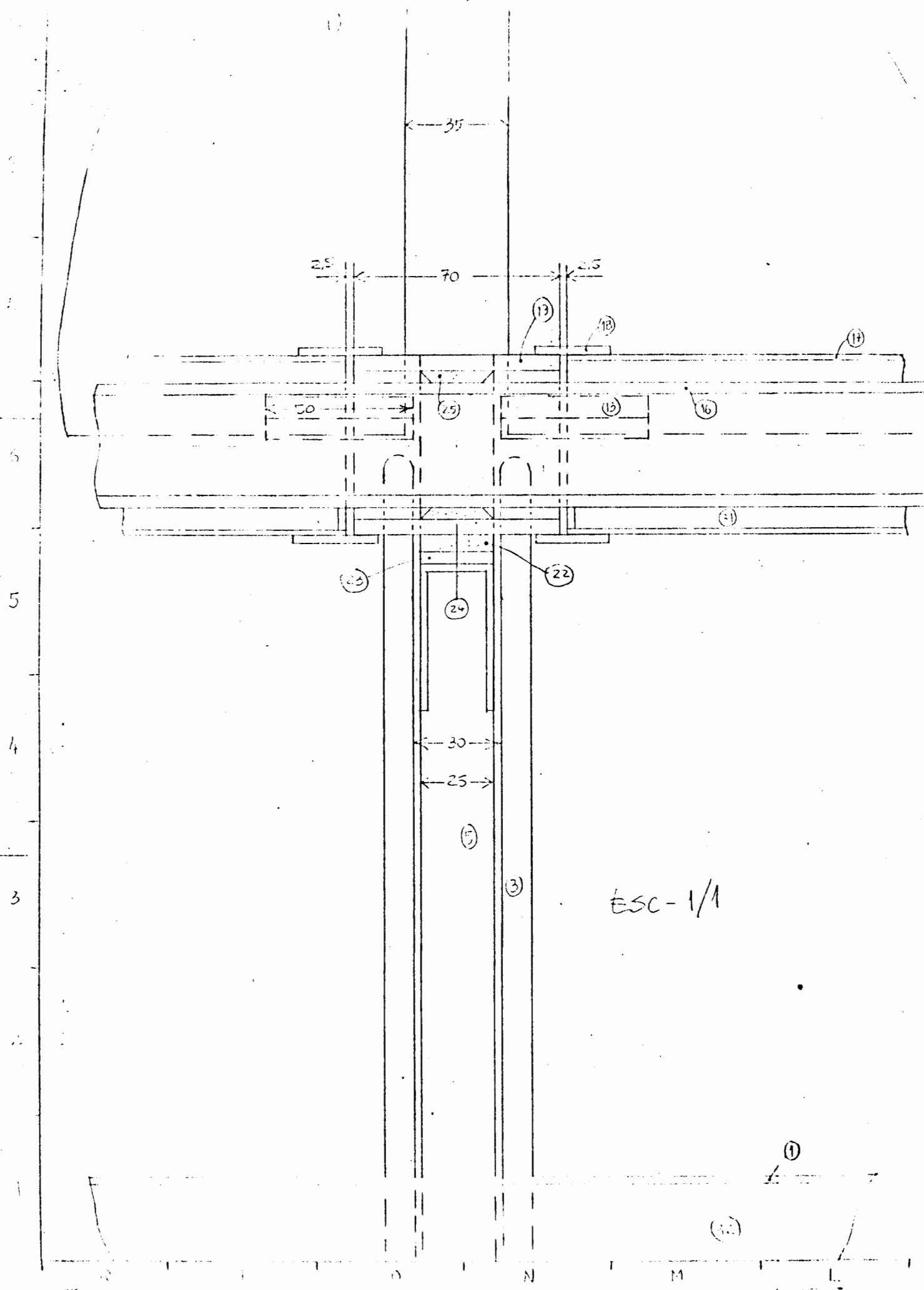


Fig.I.lg - Desenho CP 01, Cotas L-Q/1-9

14

13

Fig.I.1h - Desenho CP 01, Cotas L-Q/7-14

12

11

10

9

8

7

(4)

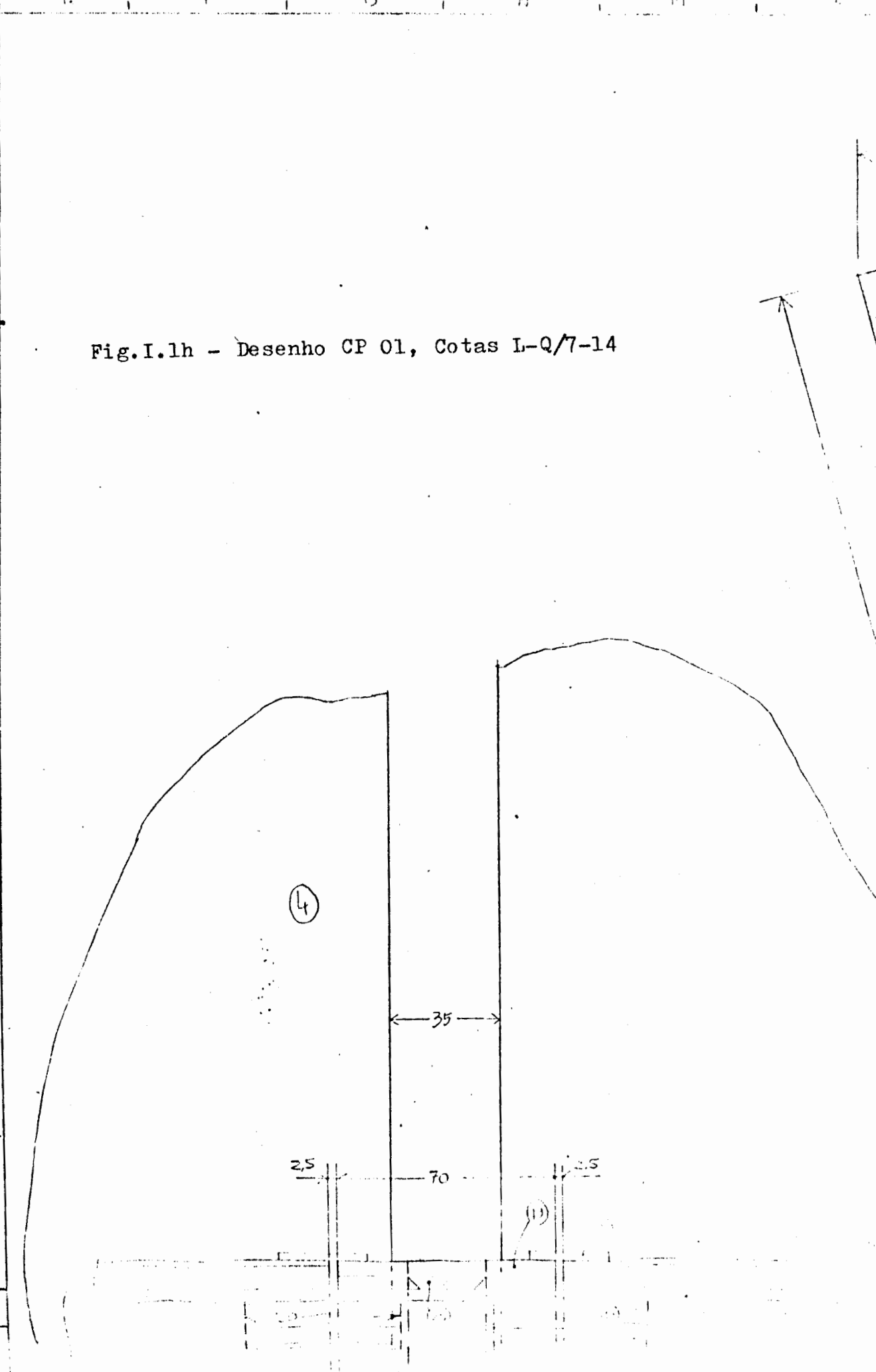
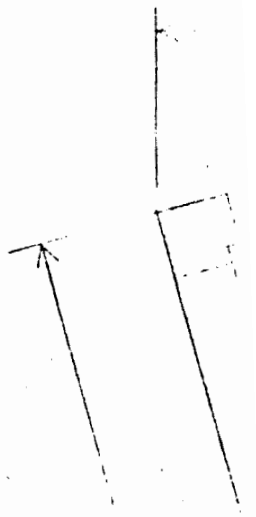
35

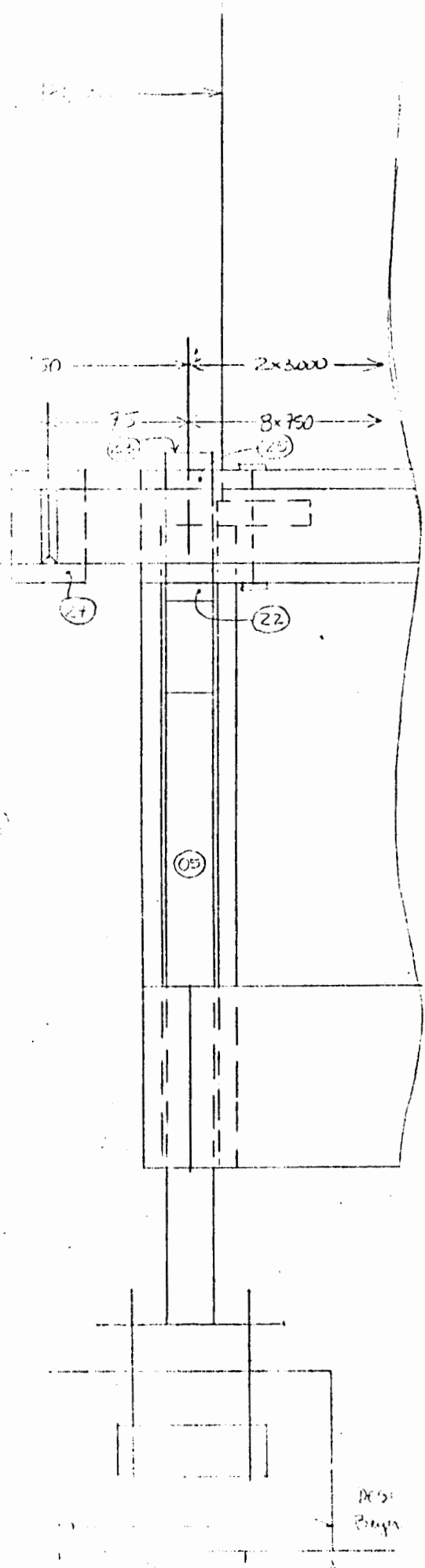
2,5

70

2,5

(11)





8

7

6

5

4

3

2

REVISÃO 10/10/83 - DIT 86

PROJETO CONSOL
 COLETOR CONCENTRADOR CPC
 CORTE LONGITUDINAL

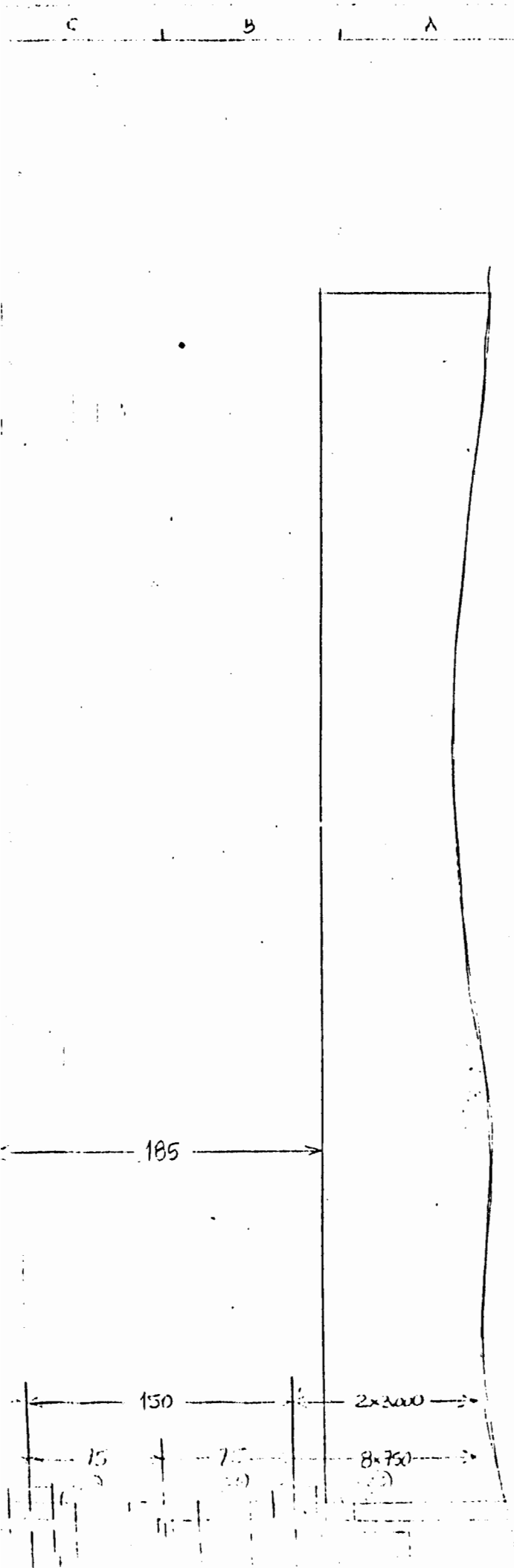
ESC. - 1/2	DIM - mm	DATA - 10 / 8 / 83	PROJ. - CS 02	DES. - CP 02
------------	----------	--------------------	---------------	--------------

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
 GRUPO DE ENERGIA SOLAR

AV. OSVALDO ARANHA 99, SALA 609 - FONE 24 8208 RAMAL 4 - PALERRE-RS

DES:
 Souza

Fig. I.2a - Desenho CP 02 - Cotas A-C/1-9



Nº	Nome	Qtd	Dimensões
01	Tubo Torque	01	∅ 101,60 × 2,25 × 6,000
02	Braço	04	1130 × 20 × 1,25 × 1,000
03	Fixação	64	∅ 3/8" × 100
04	Espelho	04	750 × 1417
05	Pilar Torque	12	1125 × 50 × 3,0 × 5,20
06	Sapata	24	230 × 100 × 3,0
07	Reforço Sapata	24	12180 × 100 × 3,0
08	Reforço Braço	32	50 × 100 × 3,0
09	Reforço Fixação	48	∅ 3/8" × 270
10	"Bolacha"	64	∅ 70 × 50
11	Fixação Braço	32	∅ 100 × 315 × 3,0
12	Fixação Sapata	24	105 × 62 × 100 × ∅ 1/2"
13	Canaleta Espelho	128	1.110 × 10 × 1,25 × 50
14	Tampão Tubo Torque	16	∅ 101 × 3,0
15	Fixação Porta Tubo Torque	16	50 × 150 × 3,0
16	Absorvedor	8	∅ 34 × ∅ 42 × 6.150
17	Cobertura Absorvedor	32	∅ 57 × ∅ 61 × 1.445
18	Fixação Cobertura Absor.	192	5 × 5 × 25
19	Mancal Móvel Central	8	∅ 50 × ∅ 61 × 70
20	Mancal Móvel Externo	16	∅ 50 × ∅ 61 × 60
21	Mancal Aéreo	16	∅ 50 × ∅ 61 × 30
22	Bucha Mancal Fixo	24	∅ 61 × ∅ 72 × 25
23	Mancal Fixo	24	∅ 72 × ∅ 80 × 25 × 110
24	Parafuso Mancal Fixo	48	∅ 8 × 30
25	Bucha Technyl Absorv.	40	∅ 42 × ∅ 50 × 25
26	Tirante Braços	32	∅ 3/8" × 120
27	Luva Absorvedor	4	∅ 42 × 40
28	Curva Absorvedor	8	∅ 42
29	Pilar Grande	12	1125 × 50 × 3,0 × 5,20
30	Reforço Pilar	24	12150 × 85 × 3,0
31	Refletor Radiação	32	L 9 × 9 × 1.440
32	Aneia	8	∅ 97 × 6.050
33	Gaxeto Espelho	256	2 × 8 × 50

Fig. I.2b - Desenho CP 02, Cotas A-C/7-14

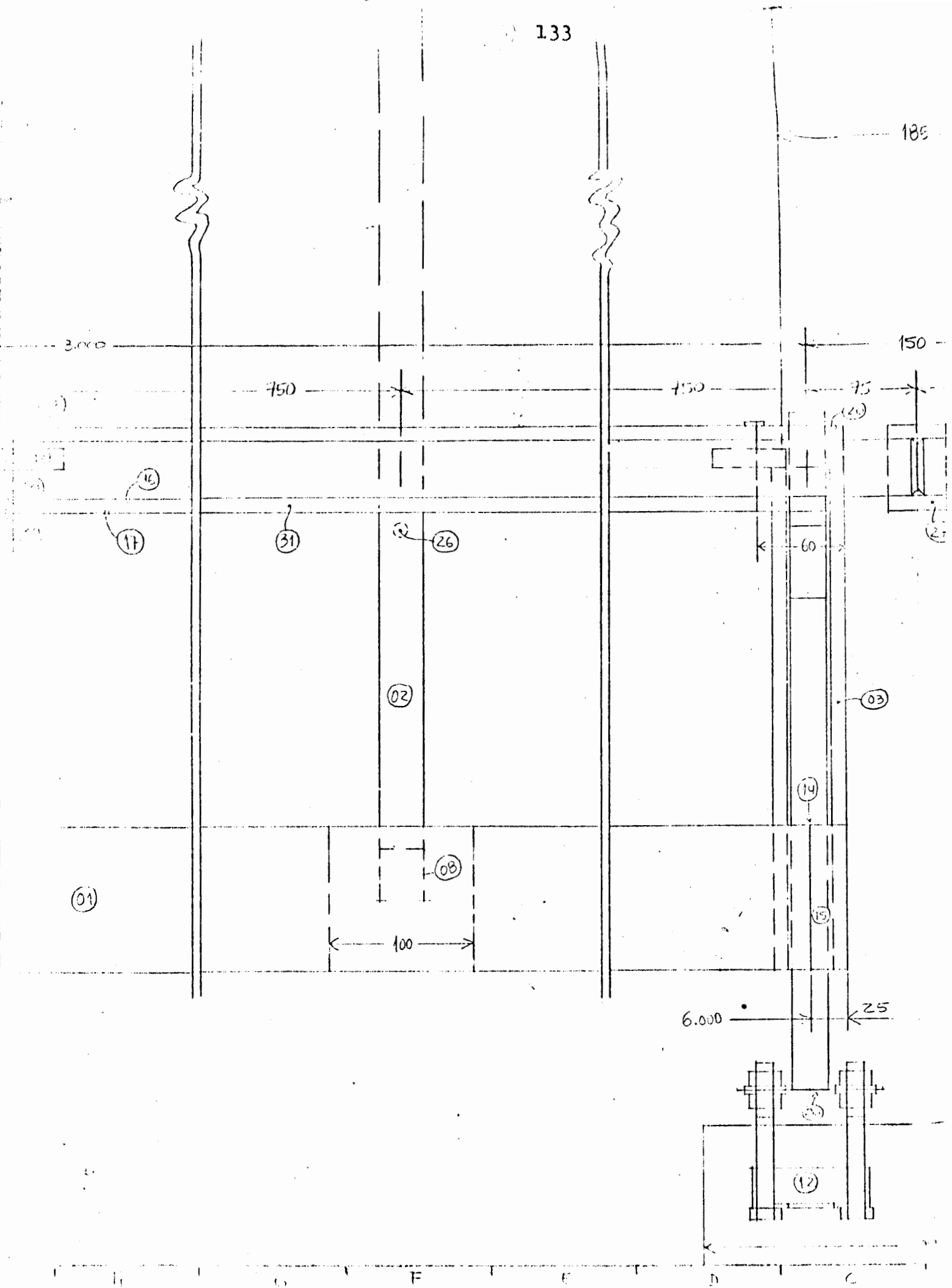
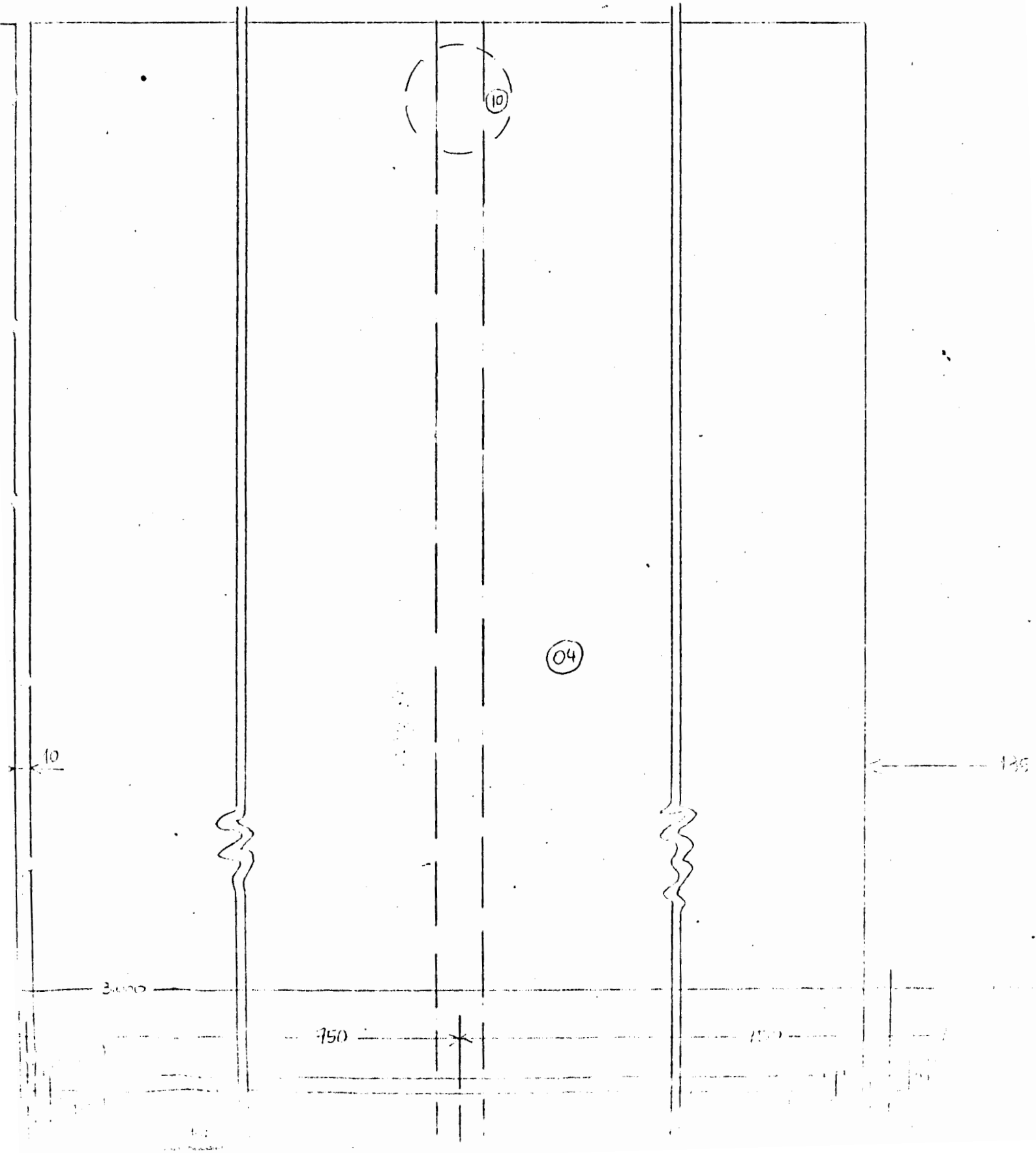


Fig.I.2c - Desenho CP 02, Cotas C-I/1-9

Fig.I.2d - Desenho CP 02, Cotas C-I/7-14



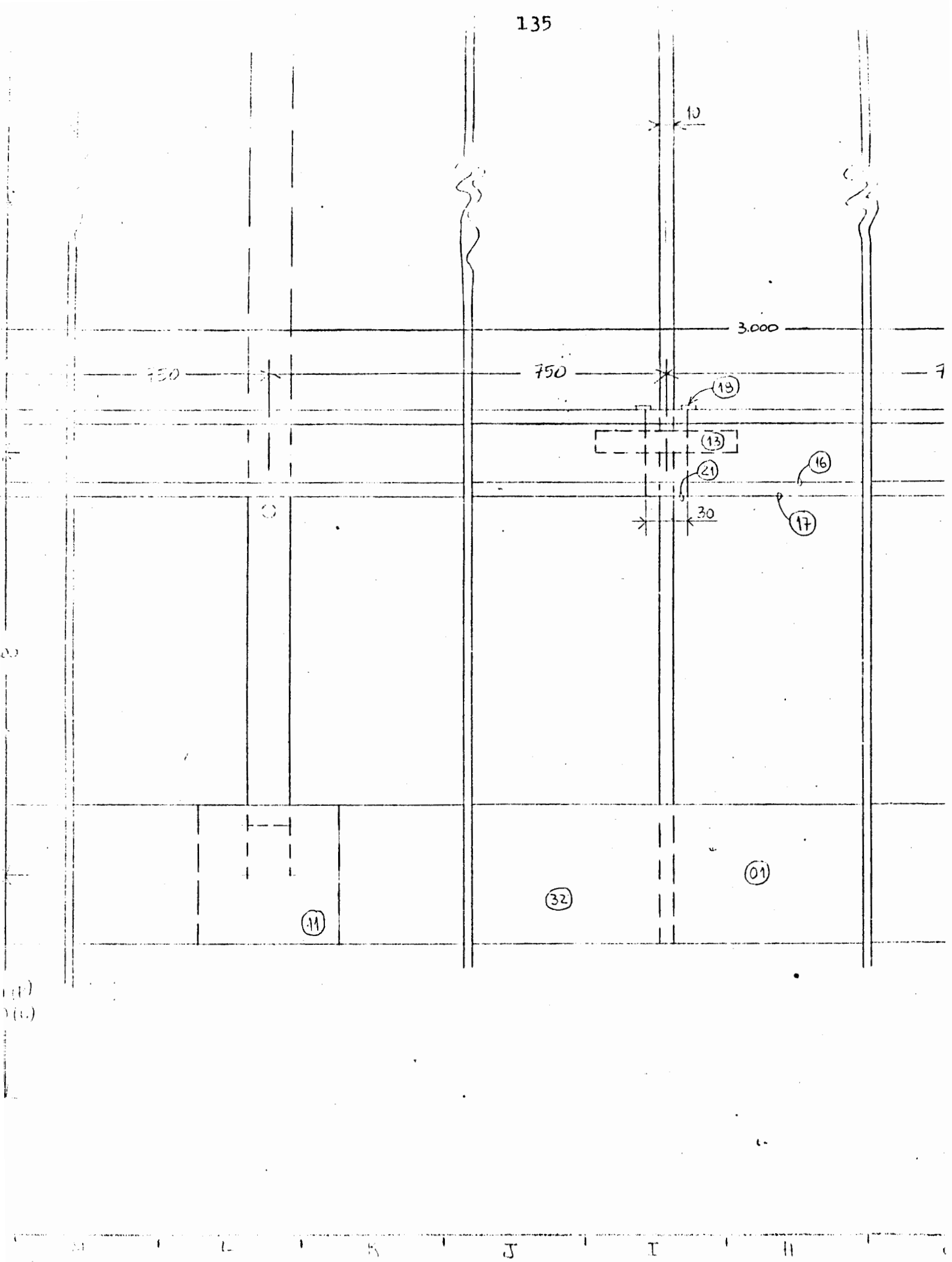
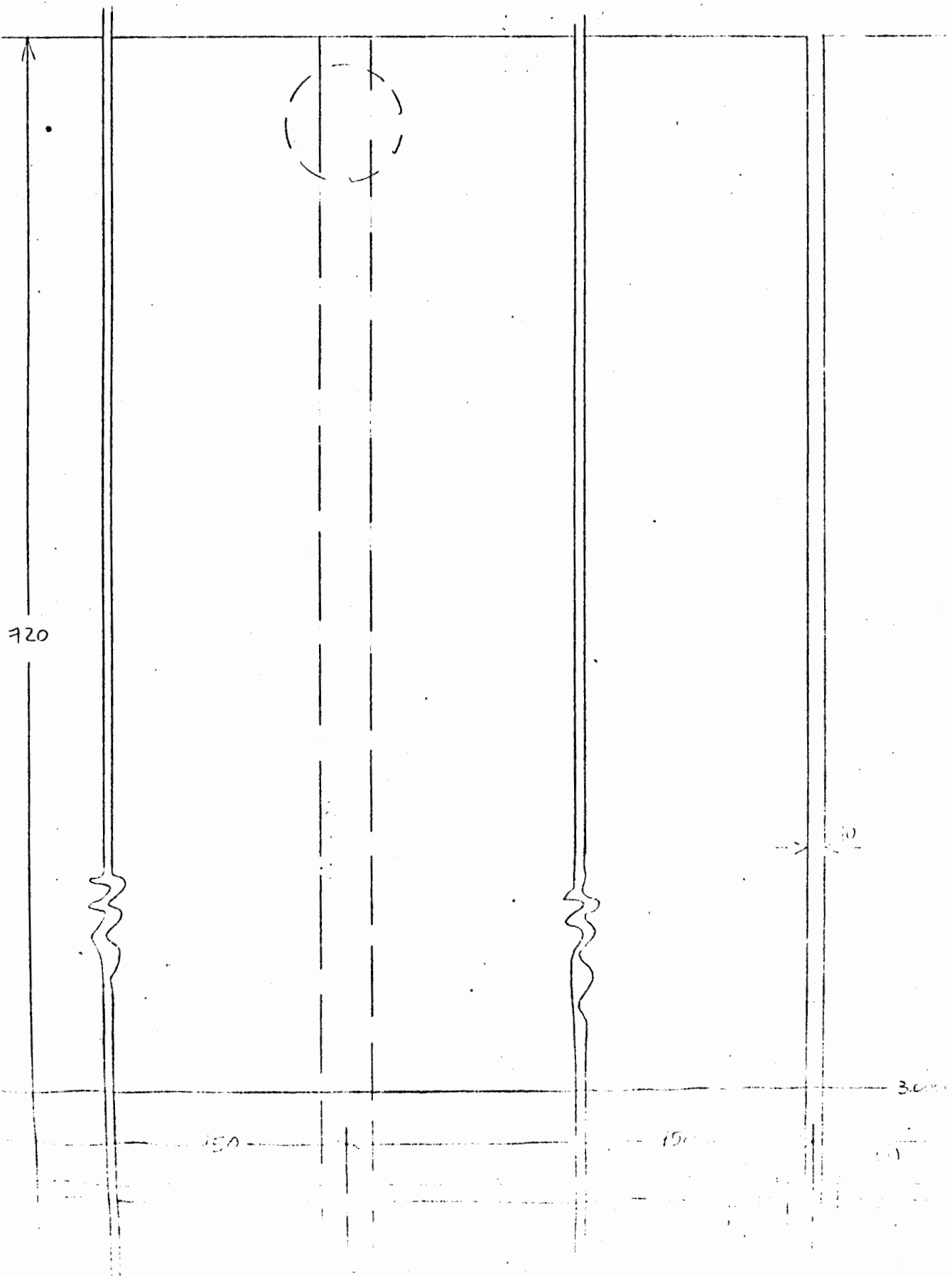


Fig.I.2e - Desenho CP 02, Cotas G-M/1-9

N . . . M . . . L . . . k . . . J . . . I . . . H

Fig.I.2f - Desenho CP 02, Cotas H-N/7-14



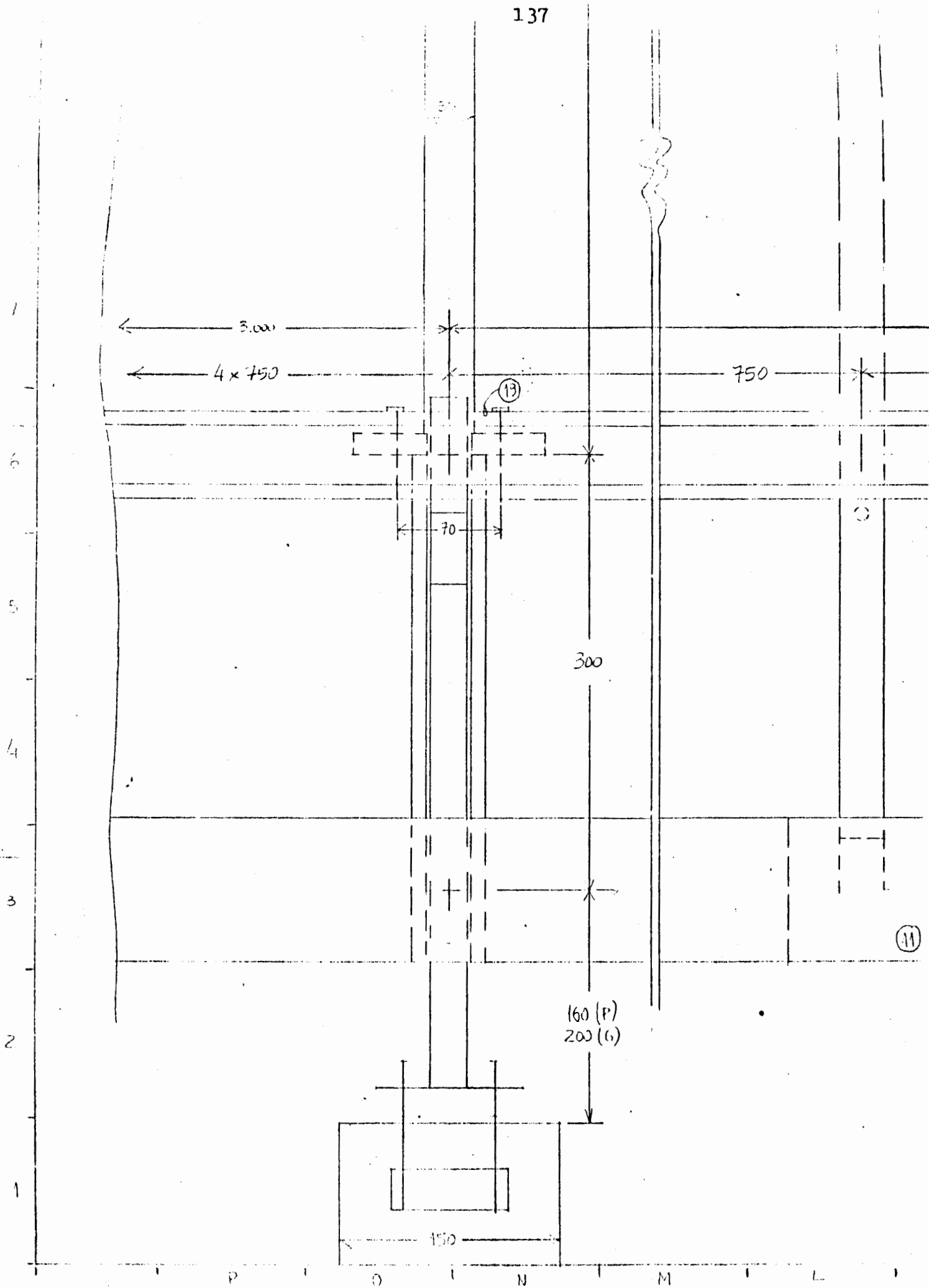


Fig. I.2g - Desenho CP 02, Cotas L-Q/1-9

Q I P I O I N I M

Fig.I.2h - Desenho CP 02, Cotas L-Q/7-14

14
13
12
11
10
9
8
7

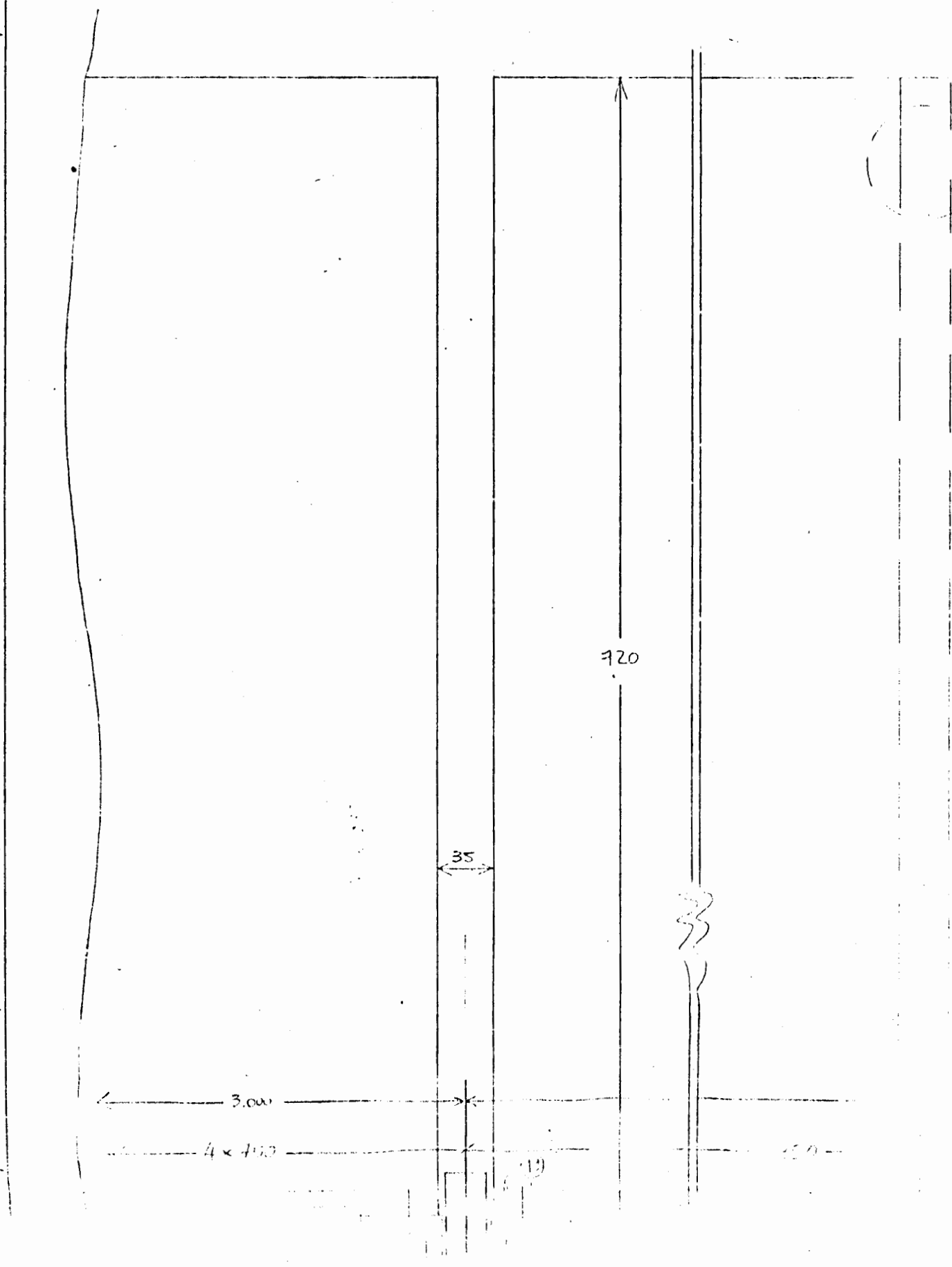
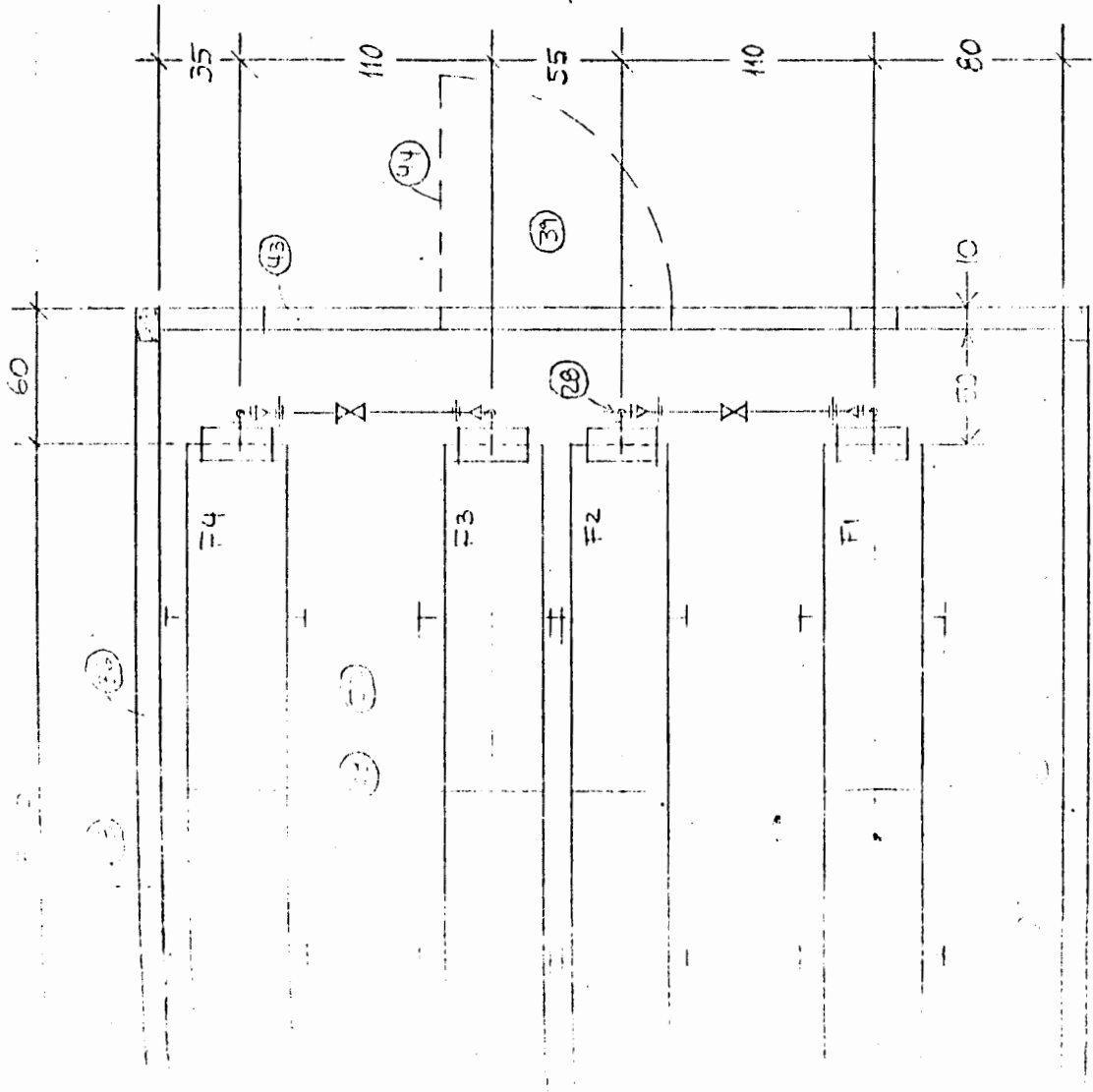


Fig. I.3a - Desenho CP 03, Cotas A-E/1-6



REVISÃO : 10/10/83 - 17/11/83 - DJT 96

PROJETO CONSOL
COLETOR CONCENTRADOR CPC
ESTUFA E COLETORES

ESC. - 1/20 DIM - m e cm DATA - 12/2/83 PROJ. - CS C2 DES. - CP C3

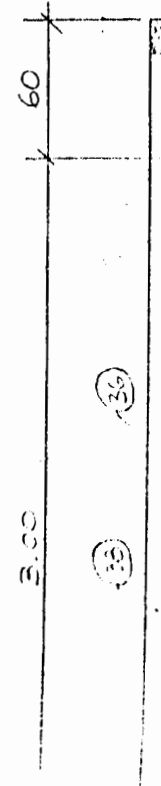
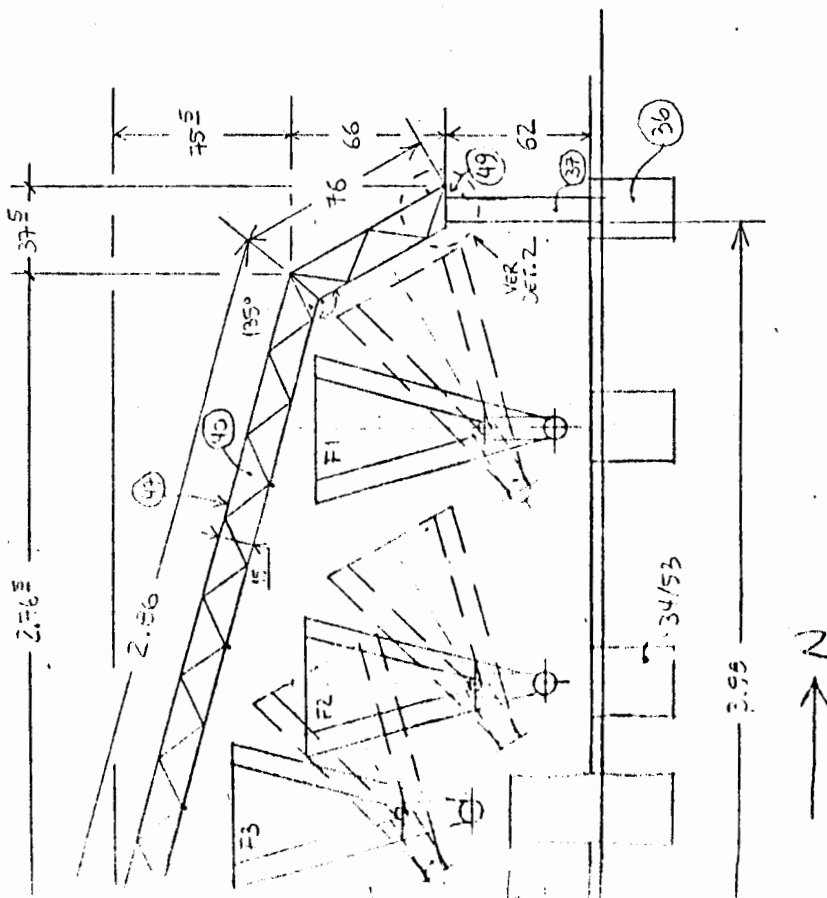
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
GRUPO DE ENERGIA SOLAR

AV OSVALDO ARANHA 99, SALA 609 F. FONE 248208 RAMAL 4 - PALESTRE-95

Des: Buzza

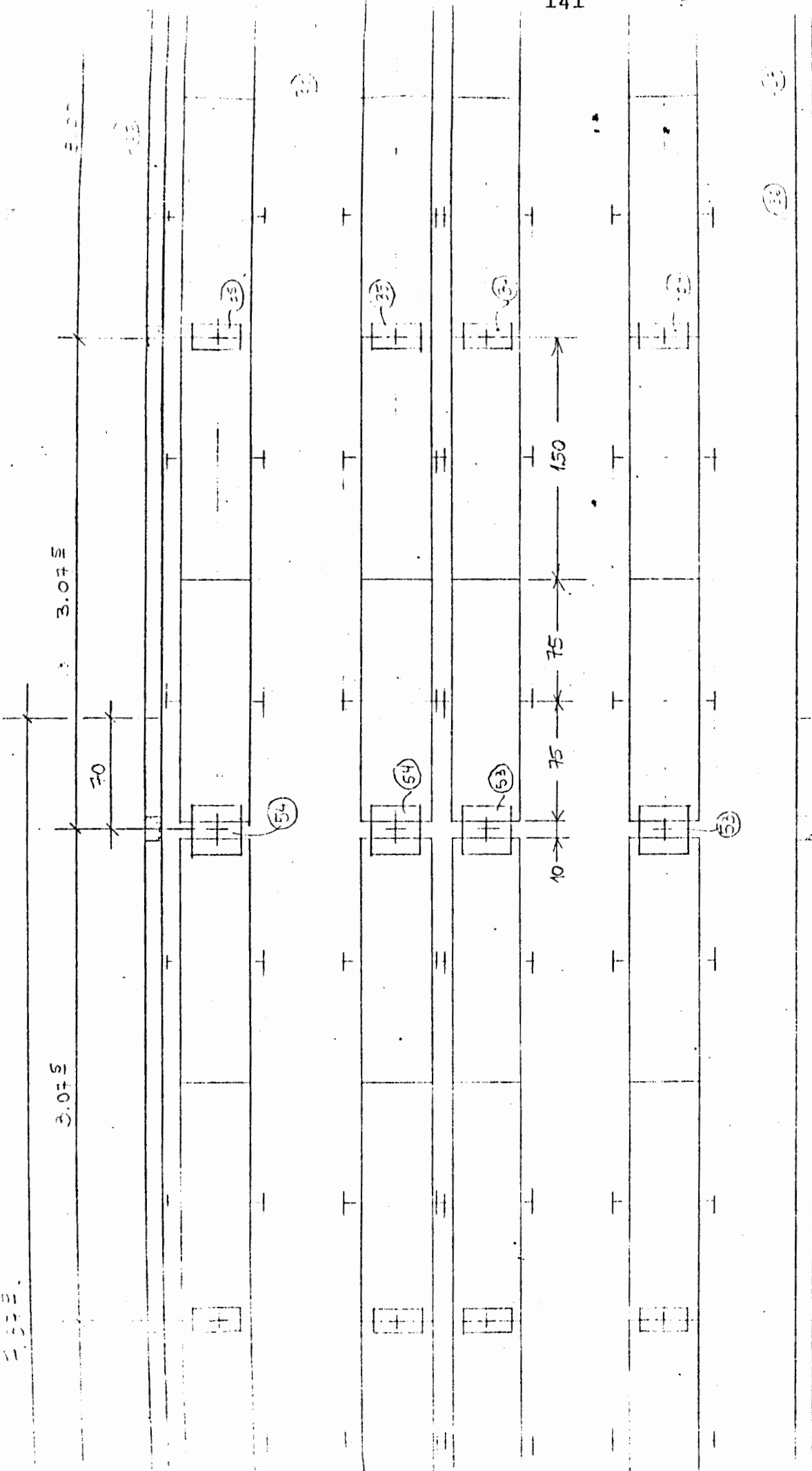
E 1 2 3 4 C B A

A B C D E



Item	Description	Quantity	Dimensions / Notes
34	Pilarete Baixo Duplo	2	150 x 150 x 300
35	Pilarete Alto Simples	2	150 x 300 x 350
36	Alicerce Parede	2	250 x 400 x 13.350
37	Parede Monte	1	100 x 600 x 13.350
38	Parede Sul	1	100 x 600 x 13.350
39	Brita	1	300 x 13.150 x 25
40	Tulega Cobertura	12	1130 x 2.86 x 60 x 150
41	Traveca Cobertura	14	4750 x 25 / 2
42	Travessia Cobertura	6	2716 x 13150
43	Alicerce Ponta	2	100 x 150 x 3.980
44	Ponta Enxada c/ Dobrad.	2	1000 x 1850
45	Ponta Pequena c/ Dobrad.	-	-
46	Ferragem Fechamento	-	-
47	Cobertura	1	Calços Metálicos
48	Fechamento Lateral	2	4750 x 13.350
49	Anemete Cobertura	2	4.230 x 2055
50	Trinco Ponta	16	13350
51	Cabeleiro	4	20 x 100
52	Piso	1	30 x 50
53	Pilarete Baixo Duplo	1	3.900 x 13.150 x 25
54	Pilarete Alto Duplo	2	300 x 300 x 000
55	Cobertura "Galestina"	2	300 x 300 x 250
56	Pilar Cobertura "Galestina"	1	φ 3 x 15
57	Parafuso Fixação Vidro	169	100 x 620 x 27.50
58	Arredoy Este/Dante	2	-

Fig.I.3b - Desenho CP 03, Cotas A-E/6-12



13.35

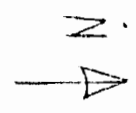


Fig.I.3c - Desenho CP 03, Cotas E-L/1-6

ESCOLA DE ENGENHARIA
DE MINERACAO

L I J I I H G F E

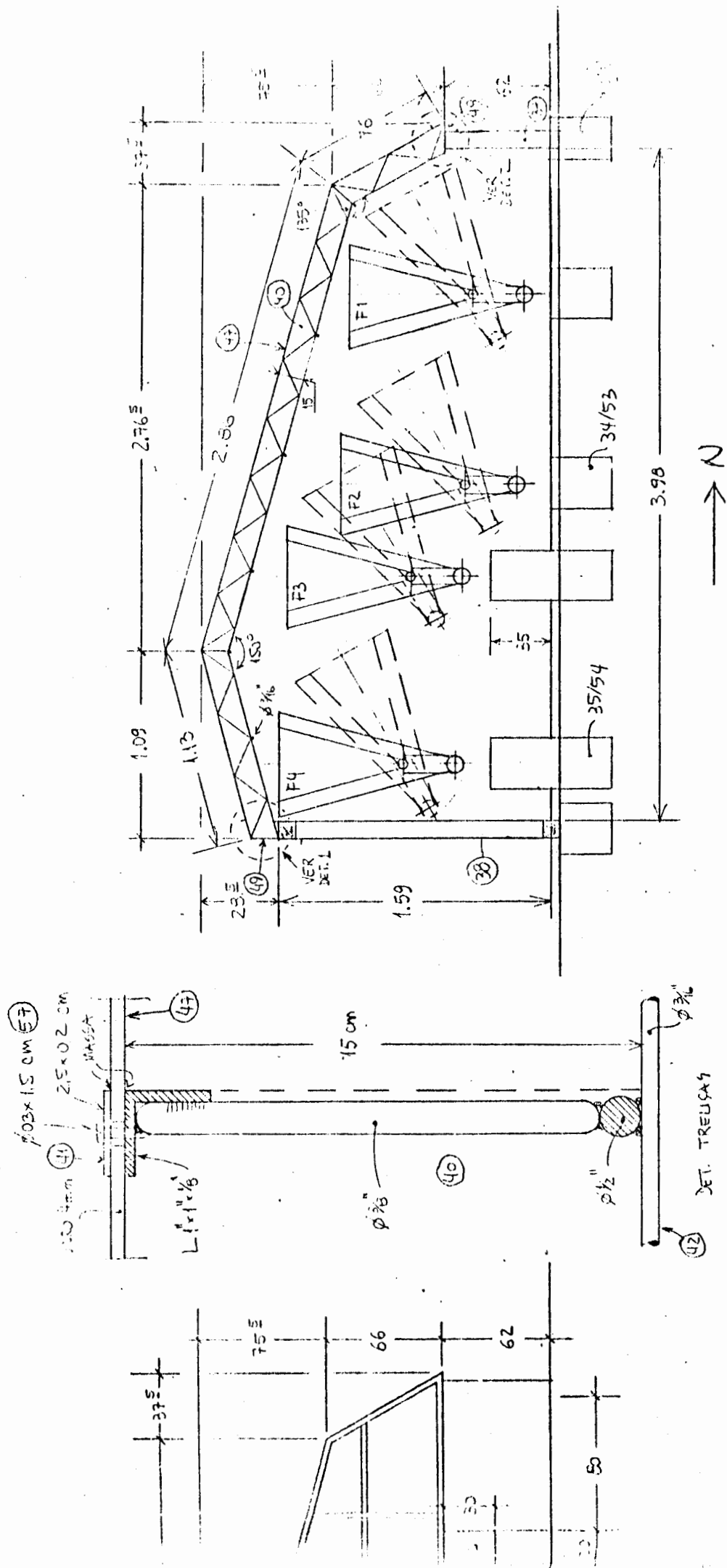
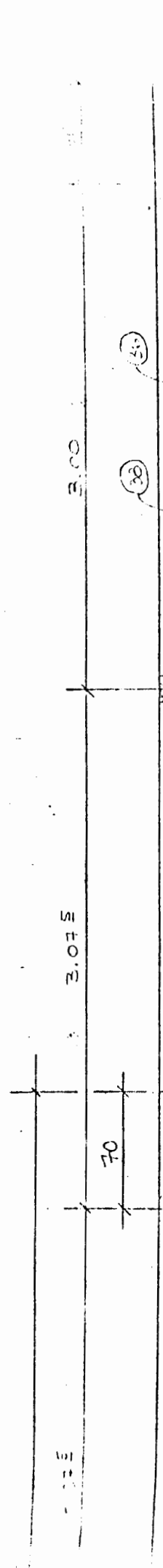


Fig. I.3d - Desenho CP 03, Cotas B-J/6-12



7.375

3.075

3.00

60

6 5 4 3 2 1

U K L M N O P Q

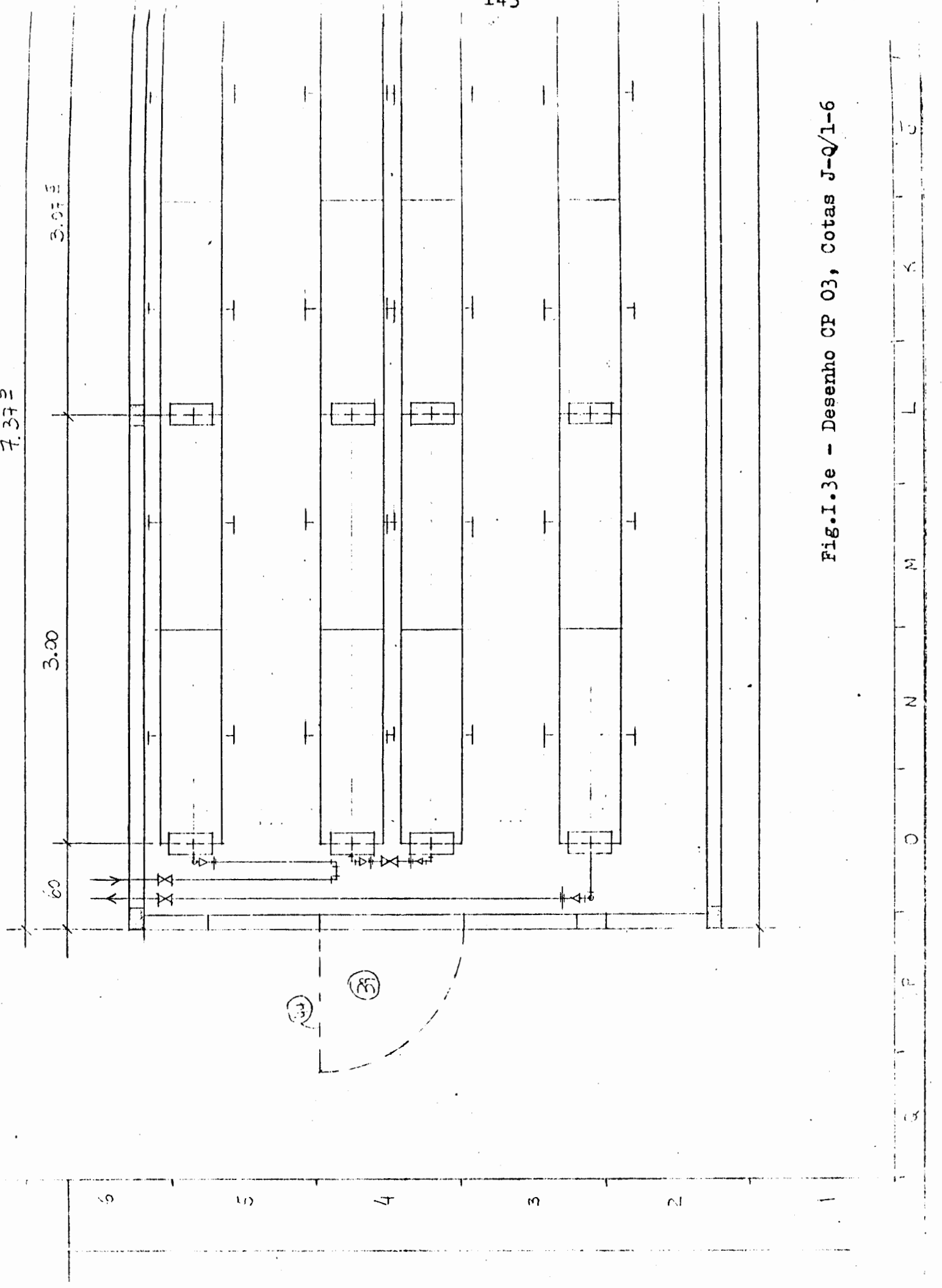


Fig.I.3e - Desenho CP 03, Cotas J-Q/1-6

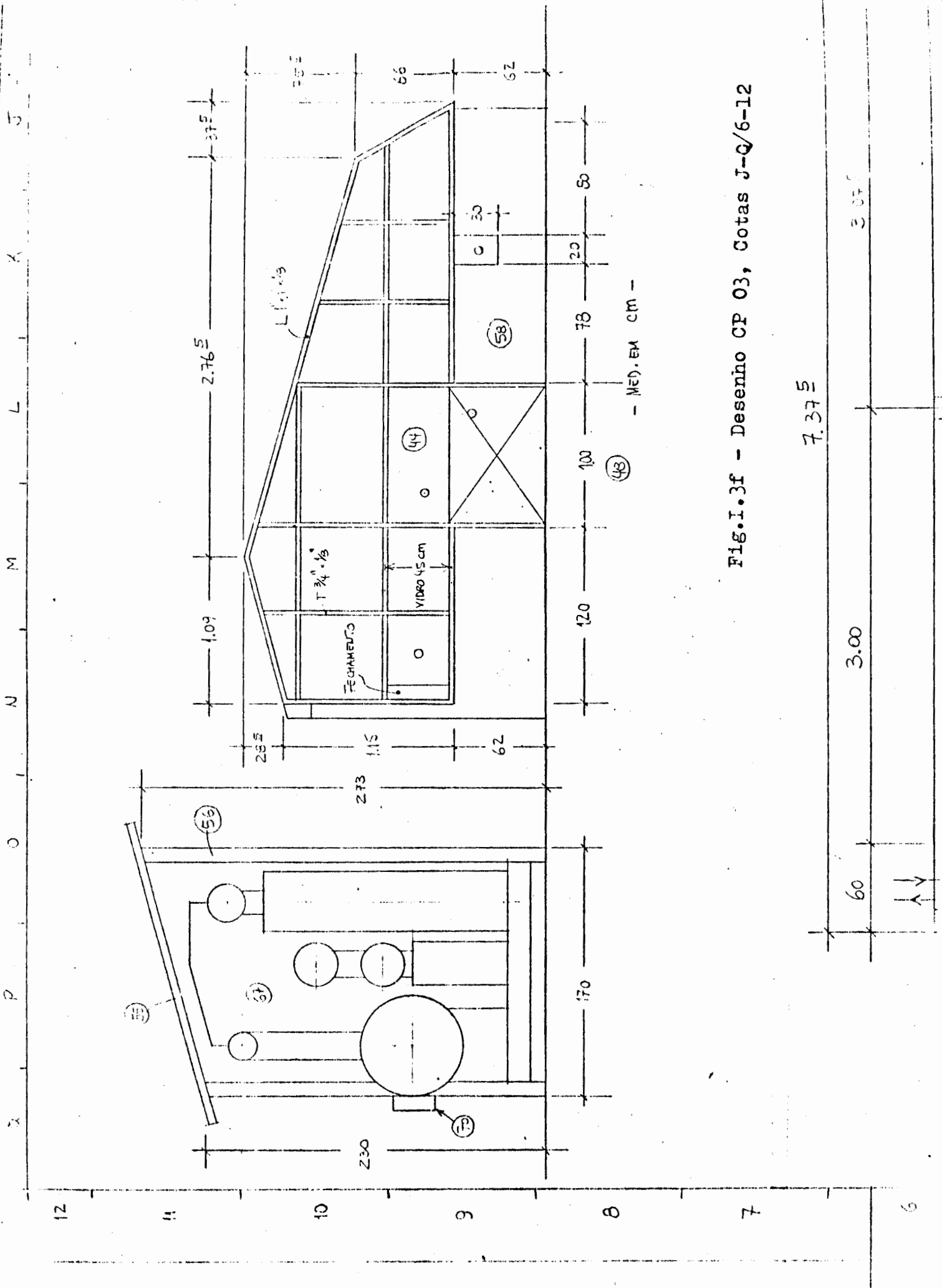


Fig. I.3f - Desenho CP 03, Cotas J-Q/6-12

7.375

3.00

3.00

A-V

Fig. I.4a - Desenho CP 04, Cotas A-E/I-6

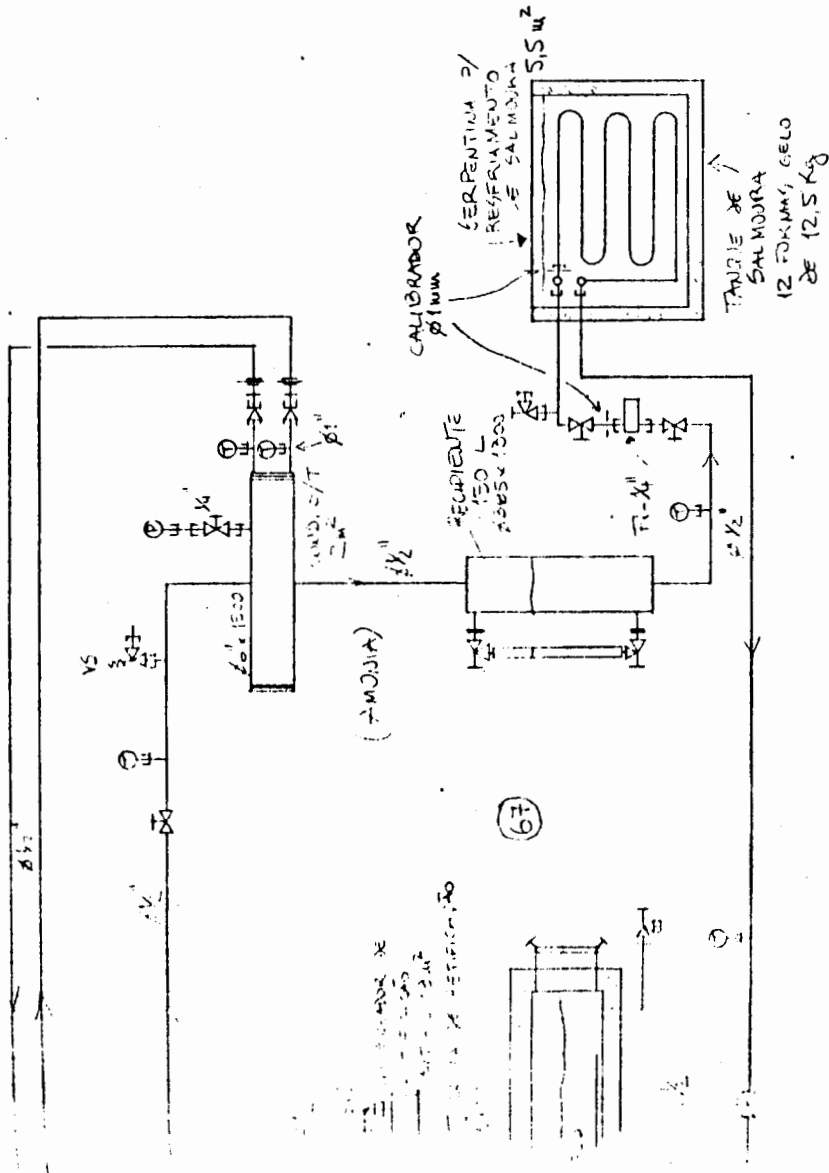
REVISÃO: 25/10/83 - 20/1/85 - SET/86

PROJETO CONSOL
COLETOR CONCENTRADOR CPC
CIRCUITO TÉRMICO

ESC. - 2/E 1/20
DIM - mm e pol.
DATA - 18/8/83
PROJ. - CS 02
DES. - CP 04

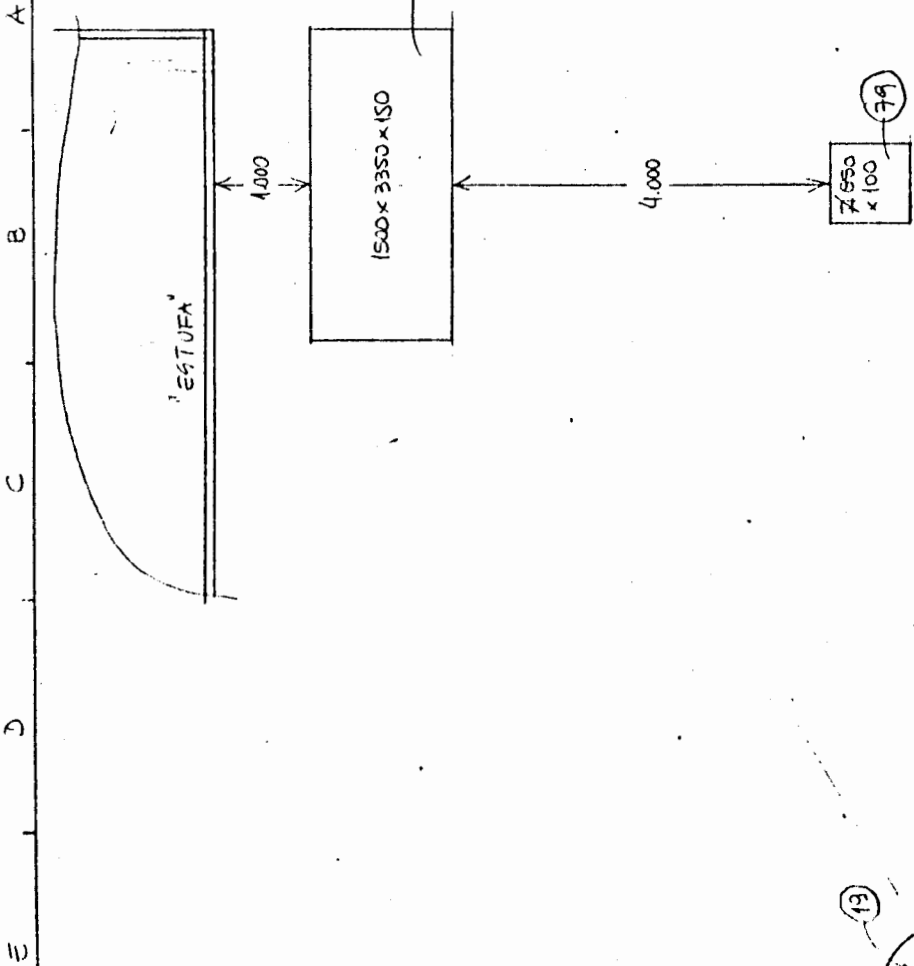
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
GRUPO DE ENERGIA SOLAR

AV OSVALDO ARANHA 99, SALA 609 - FONE 248208 RAMAL 4 - PALESTRE - RS

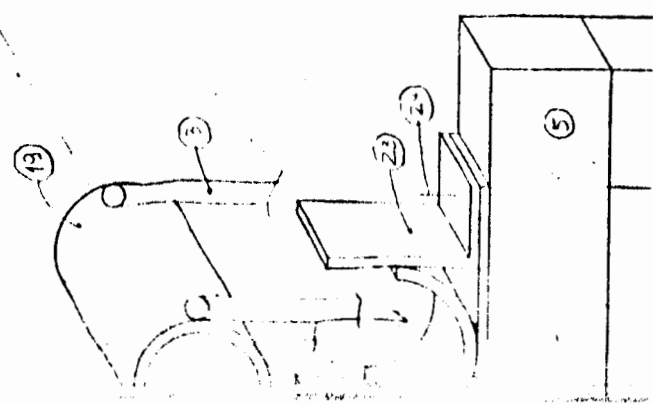


Des: Snygr

A B C D E



PLANTA BAIXA BASES - ESC: 1/50



Item	Quantidade	Descrição	Valor
67	1	"Deflexora"	
68	1	Misto-Caixa 220V - 6000	38,220V 6000
69	1	Caixa Sal 500.00	
70	1	Quadro Elétrico Bomba/Resist	
71	1	Cabo Galv. 1/2"	
72	6	Regist. 3/4"	18000
73	1	Cabo Galv. 3/4"	
74	8	Redução $\phi 42 \times \phi 3/4$ "	
75	10	União 3/4"	
76	1	Isolamento 3/4"	9000 (Búntano)
77	6	Te 3/4"	(+510)
78	10	Curva 3/4"	850 x 850 x 300
79	1	Base Torre Resfriam.	6000W, 38,220V
80	2	Resistência Aquecim.	
81	2	Sal	100 M de cada
82	1	Tubo 8 x 14	3/4" (F/Oleo)
83	25	Válvula Proporcional Fêno	
84	8	Wipê 3/4"	
85	25	Curv. de Redução	1 1/4" x 3/4" → ?
86	8	Base "Geladeira"	1500 x 3350 x 150
87	1	Sistema de Pormoventu	
88	8		

Fig.I.4b - Desenho CP 04, Cotas A-E/6-12

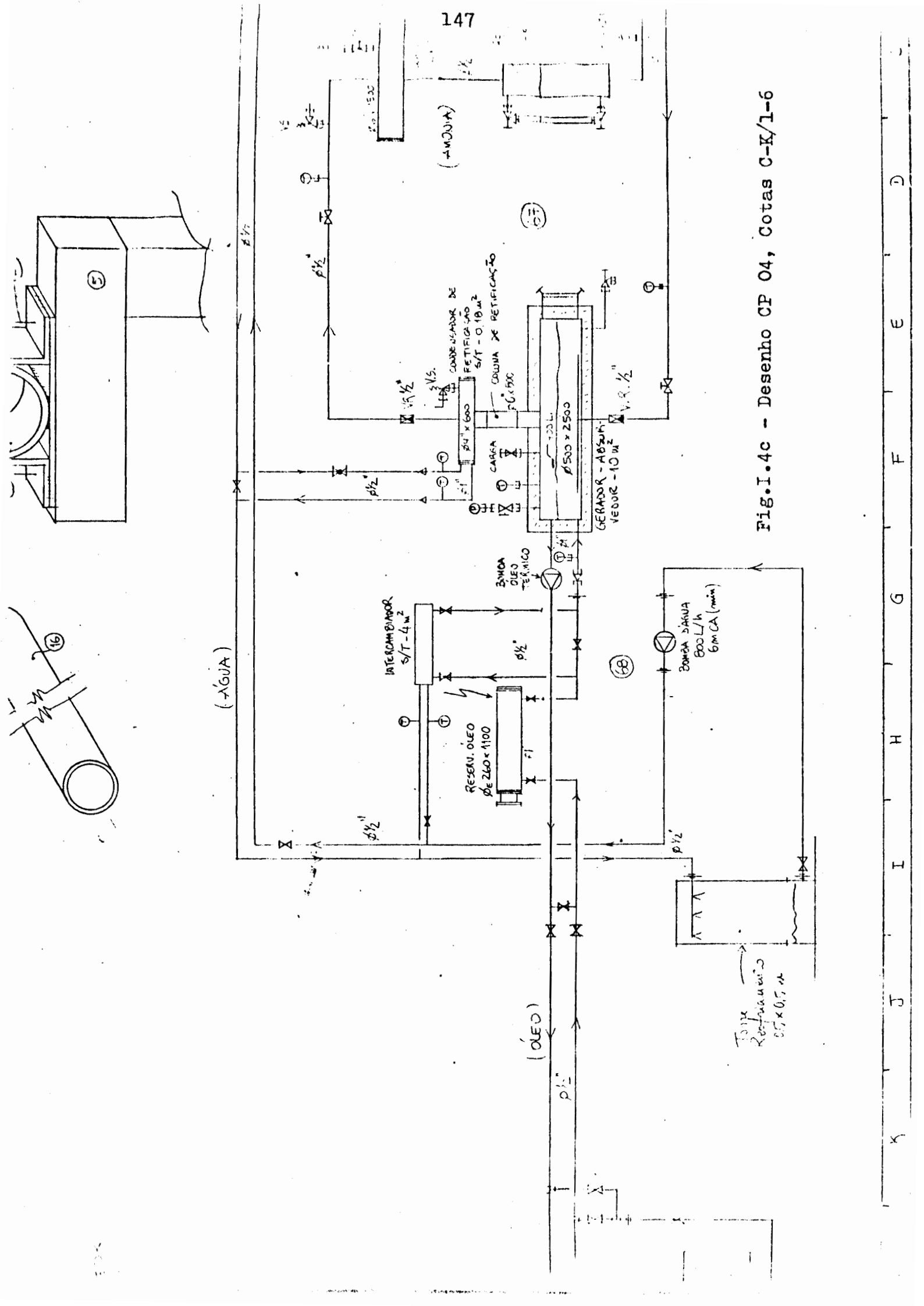
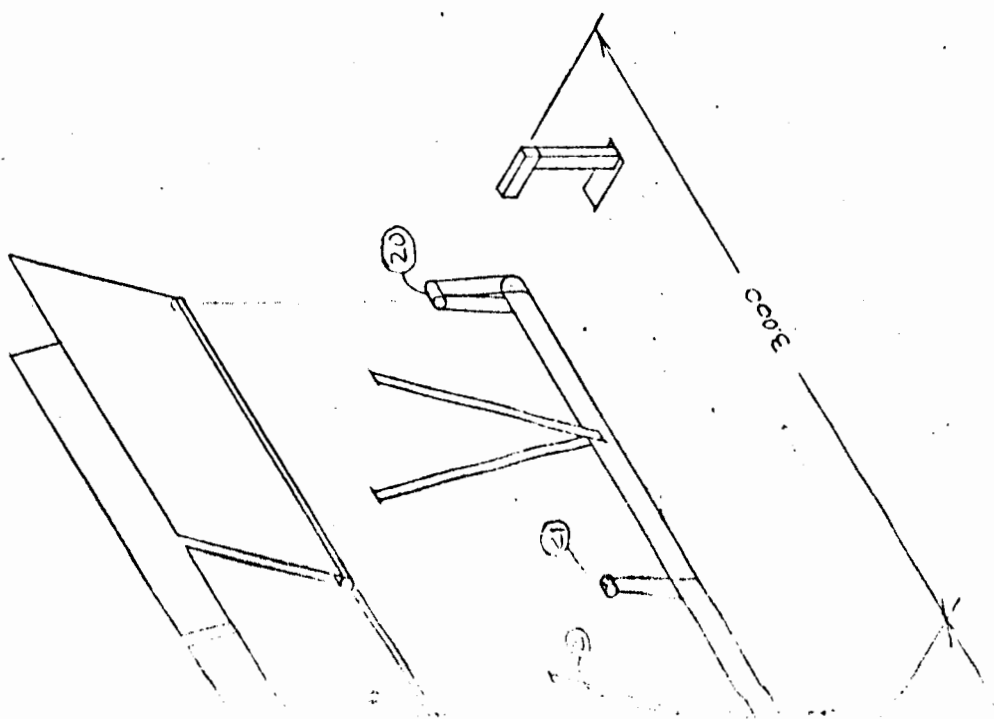


Fig. I.4c - Desenho CP 04, Cotas C-K/1-6

K J I H G F E D

K J I H G F E D C B A



VISTA MANCAL
ESC: 1/2

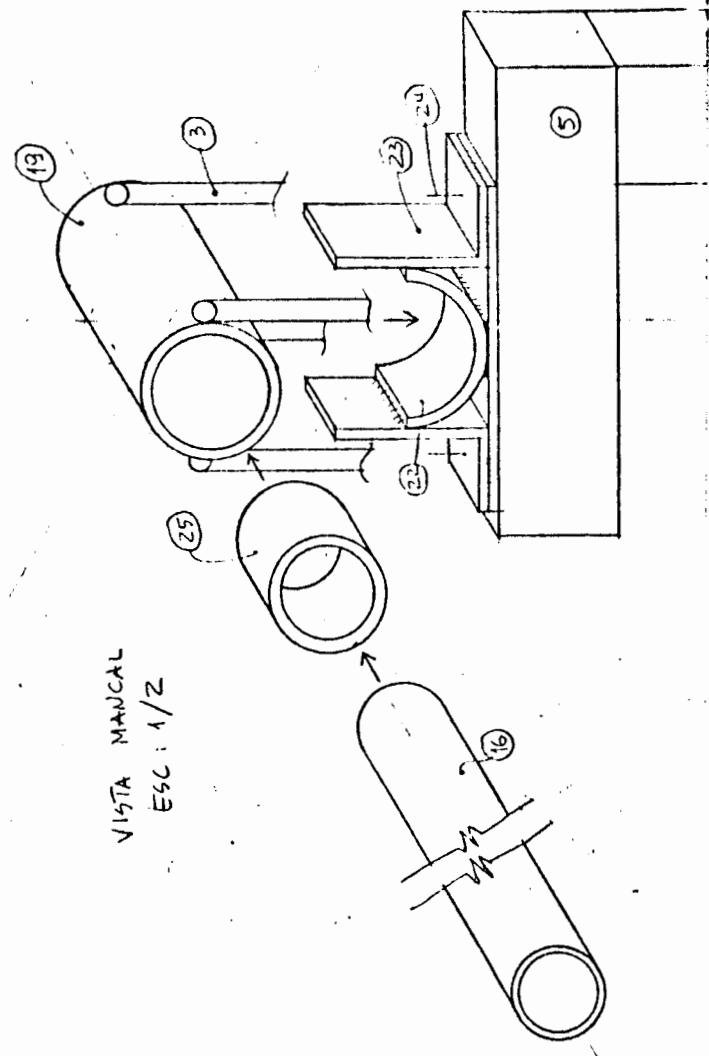


Fig. I.4d - Desenho CP 04,
Cotas C-K/6-12

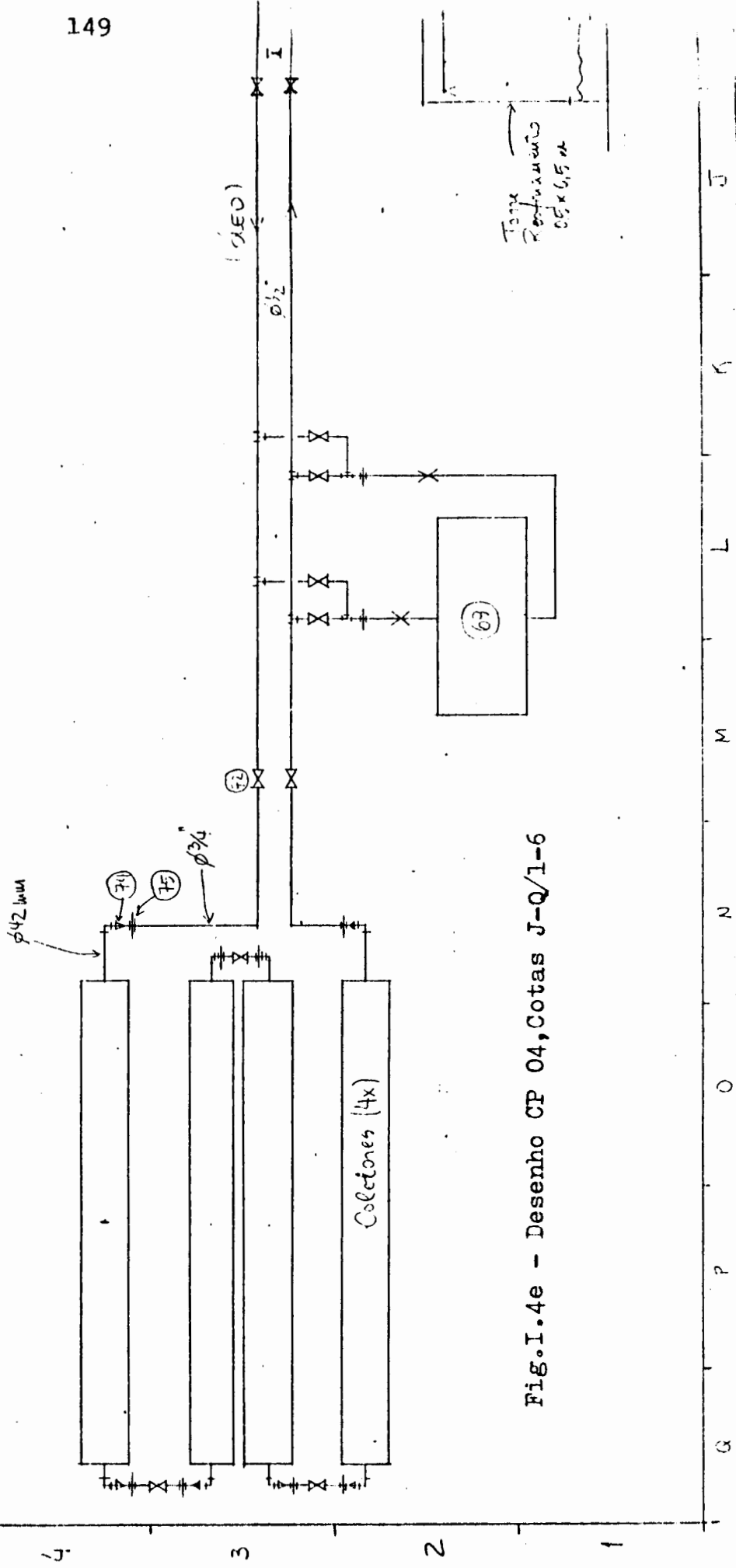
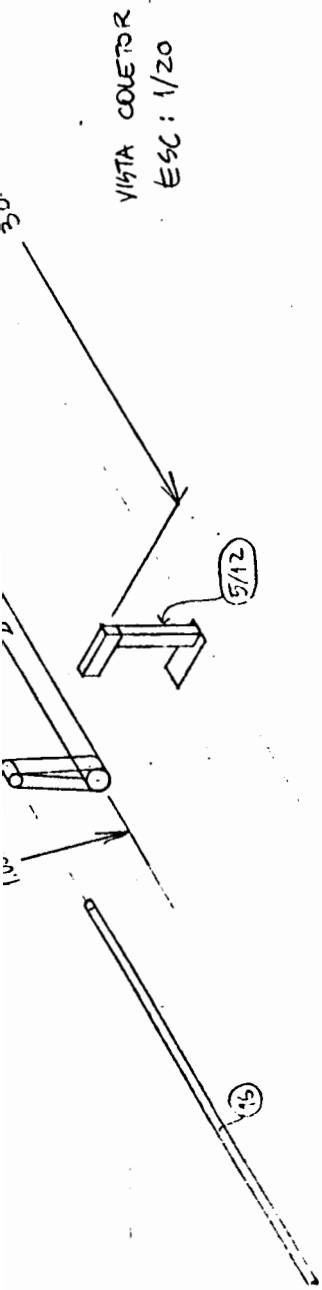


Fig. I.4e - Desenho CP 04, Cotas J-Q/1-6

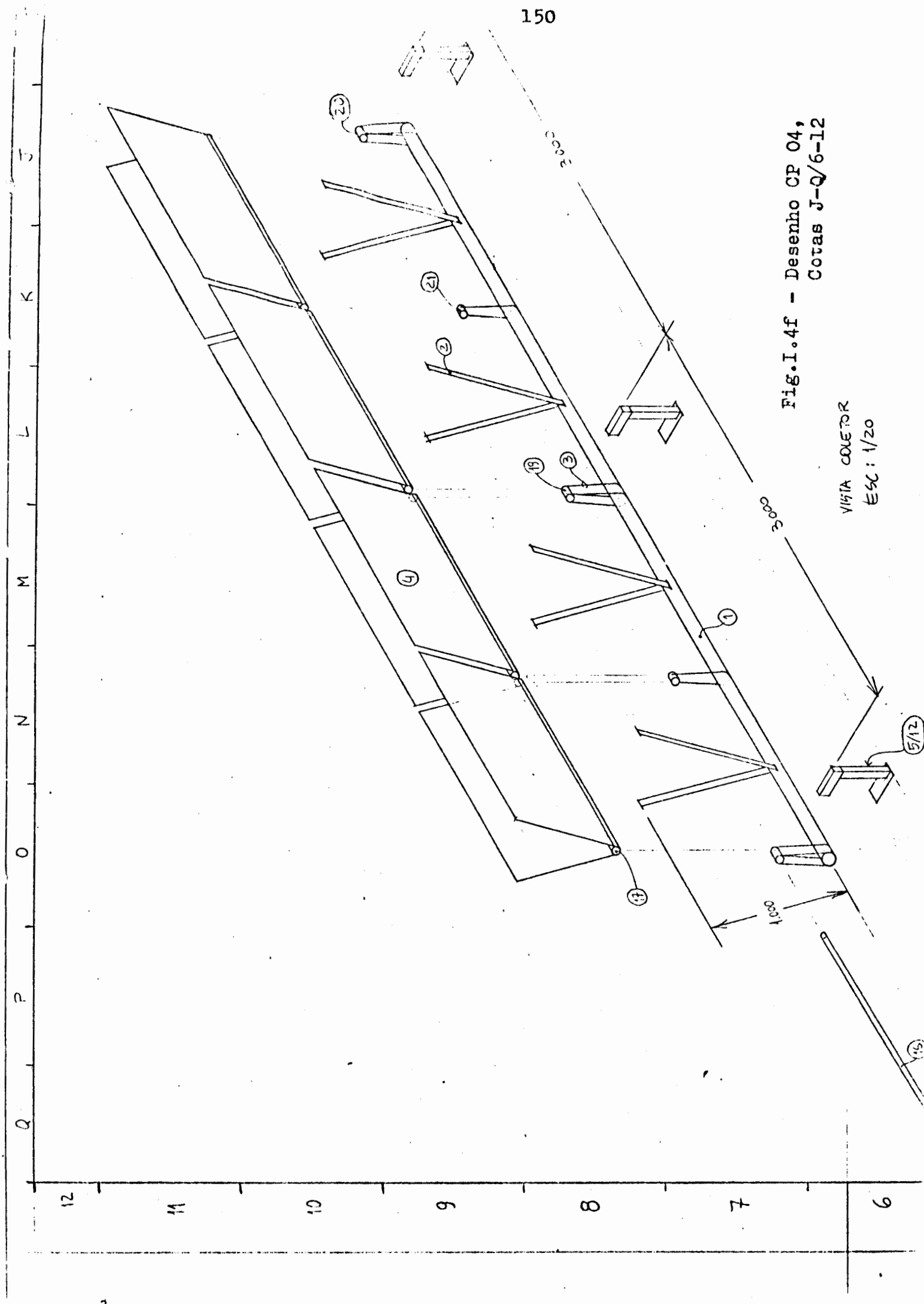


Fig. I.4f - Desenho CP 04,
Cotas J-Q/6-12

VISTA COLETOR
Esc: 1/20

Anexo II - Descrição Detalhada do Programa para Simulação de Coletor Concentrador

A seguir será feita uma listagem comentada e explicada do programa que simula o comportamento de coletor concentrador sob radiação solar. O programa foi desenvolvido em linguagem BASIC para o micro-computador CP-400. Com pequenas modificações de alguns comandos específicos pode ser usado em qualquer micro-computador de linguagem BASIC.

10 REM SIMCOL

Aparece o nome do programa, SIMCOL, abreviação de Simulação dos Coletores.

20 PCLEAR 8:DECLARAÇÕES

Reserva 8 páginas de memória para o modo gráfico, sendo que cada página de tela de vídeo gráfico usa 4 páginas de memória. No programa alternam-se duas páginas, uma com o desenho geral do coletor e outra com o conjunto cobertura/absorvedor ampliado em detalhe.

O símbolo ' para o micro-computador utilizado significa : REM do Basic normal. Declarações é um comentário dos passos seguintes, em consonância com o fluxograma da Fig. 3.1.

30 DIM XI(11), YI(11), XE(16), YE(16), XN(16), YN(16)

Reserva espaços para as matrizes-vetores definidas.

Os significados das matrizes serão abordados em linhas subsequentes.

40 DIM X1(16), Y1(16), X2(16), Y2(16), A1(15), B1(15), A2(15),
B2(15)

Idem linha 30

50 DIM X3(8), Y3(8), X4(8), Y4(8)

Idem linha 30

60 PI= 3.141592654

A maioria dos micro-computadores não tem o valor de PI (π), aqui introduzida.

70 INPUT "POS INICIAL(OA10, PROJ=7)"; I'ENTRADA DADOS

Conforme descrito no capítulo anterior, a peça de montagem nº 13 foi fabricada com 15 mm em troca dos originais 10 mm, propiciando maiores alternativas de posicionamento da base dos espelhos (Ver Desenho CP-01, cotas C/D-6). A canaleta foi dividida em onze posições, numeradas de 0 a 10, sendo a posição original de projeto a de número 7. Esta linha 70 solicita a entrada da posição base do espelho. Seus valores serão vistos mais tarde.

80 INPUT "ABERTURA (OA480, PROJ = 422)"; AB

Esta linha solicita a entrada da abertura dos espelhos, dimensão que inicialmente no projeto vale 422 mm, conforme pode ser visto no desenho CP01, Cota J14. As modificações que as variações desta cota causam nos coletores será analisada mais tarde.

90 INPUT "ESPAÇAMENTO RAIOS (1A20)"; ER

Solicita a entrada do espaçamento de raios a ser utilizado na simulação de radiação. Para teste dos coletores deve-se utilizar ER = 1, e para visualização dos raios ER = 5 a 10.

100 INPUT "ANGULO DE INCIDENCIA (OA6)"; AI

Solicita a entrada do ângulo com o qual os raios devem entrar no coletor. Este foi projetado para um ângulo de aceitação de mais ou menos 5,5°.

105 INPUT "TEMPO DESENHO (1 A 10)"; S

Solicita a entrada do tempo a serem mostrados os desenhos a-

pós o traçado dos raios.

```
110 PRINT "TERMINA AOS 3 BIPS"
```

Quando o programa desenvolver e terminar o traçado de todos os raios, emite 3 Bips em tom intermediário avisando o término dos raios e da simulação.

```
120 PRINT "TEXTO = BREAK E GOTO 2000"
```

Após os 3 Bips, uma das alternativas é apertar a tecla BREAK do micro-computador e teclar GOTO 2000 "ENTER", para aparecer na tela o texto final da simulação, onde aparecem os dados e as contagens dos raios, conforme detalhado mais tarde.

```
130 PRINT "DES.GERAL = BREAK E GOTO 2200"
```

Ao final do programa, outra alternativa é chamar o desenho geral do coletor, teclando BREAK e GOTO 2200 "ENTER".

```
140 PRINT "DETALHE = BREAK E GOTO 2400"
```

Teclando-se BREAK e GOTO 2400 "ENTER" pode-se mostrar na tela o detalhe da cobertura/absorvedor e radiação incidente.

```
150 INPUT "TUDO BEM (S/N); D$"
```

```
160 IF D$ <> "S" THEN 70
```

Teste para confirmação da entrada de dados.

```
170 RC = 61/6.4 : RA = 42/6.4 ' DES.GERAL
```

Calcula o raio da cobertura (RC) e o raio do absorvedor (RA). O valor 6.4 provém de $2 \times 3,2$, onde 2 é a passagem de diâmetro (61 e 42mm, respectivamente; ver desenho CP-01, itens 16 e 17) para raio, e 3.2 é a escala do desenho no vídeo, ou seja, escala igual à $1/3.2$. Esse valor foi definido dividindo-se a maior dimensão em mm do desenho a ser mostrado na tela pelo maior eixo numérico da tela do vídeo do micro-computador. No programa em questão, a maior dimensão do desenho vale 820 mm (Ver desenho CP-01, cota J,

6 a 13) calculada: 40 mm, centro absorvedor/cobertura, mais 720 mm, altura espelhos, mais 60 mm, folga para movimentação dos espelhos). Esse valor foi dividido pelo maior eixo de vídeo do micro-computador, no caso o eixo X, valendo 256 pontos. Chegou-se então à $820/256 \approx 3.2$, escala do gráfico.

Com isso, o coletor aparece na tela numa posição fictícia, a posição horizontal.

180 PMODE 4,1: PCLS : SCREEN 1,1

Coloca o micro-computador em modo gráfico, alta resolução, página nº 1. Limpa a tela e define as cores a serem utilizadas nos desenhos.

190 CIRCLE (12.5 , 96), RC

200 CIRCLE (12.5 , 96), RA

Circle é um comando do micro-computador utilizado para traçar um círculo, com centro em (x,y) definido entre parênteses e raio R definido fora do parêntese após a vírgula. O valor $X = 12.5$ é encontrado dividindo-se a dimensão 40 mm (ver desenho CP 01, cota J6) por 3.2, escala do gráfico. A dimensão $y = 96$ é encontrada dividindo-se a escala total do eixo y, que vale 192, por dois. Ver também desenhos II.5 e II.8, onde C e D são os centros das circunferências. É bom lembrar que RC é o raio da cobertura e RA do absorvedor (ver acima).

210 AF = AI : AI = (AI/180) * PI

Guarda em AF o ângulo de entrada dos raios em graus, e calcula AI em radianos.

220 DATA 2, 42, 2.8, 41, 3.3, 40, 4, 39.2, 4,5, 38.5

230 DATA 5, 37.6, 5.8, 37, 6.5, 36, 7, 35.2, 7.6, 34.4, 8.2, 33.6

Linhas que apresentam os dados, na ordem x,y que definem os

pontos iniciais de posicionamento da base dos espelhos nas canaletas (peças de nº 13). A posição dos espelhos e os valores para x e y podem ser vistos no desenho CP-01, cota C/D-6 e no desenho 3.2 em anexo. A pesquisa da melhor posição inicial do espelho será feita mais adiante, rodando o programa para vários pontos e verificando-se o rendimento do coletor.

```
240 FOR C = 0 TO 10 ' LE BASE ESPELHOS
```

```
250 READ XI(C), YI(C)
```

```
260 NEXT C
```

Comandos para leitura dos dados das linhas 220 e 230. Os dados, em número de 11 cada, ficam armazenados nas matrizes-vetores XI(11) e YI(11). Note que a posição original de projeto é a posição 7.

```
270 DATA 0,0, 35, 5.65, 85, 13.52, 135, 19.77, 185, 24.21
```

```
280 DATA 235, 27.39, 285, 29.37, 335, 30.07, 385, 29.57
```

```
290 DATA 435, 27.89, 485, 25.45, 535, 21.89, 585, 17.61
```

```
300 DATA 635, 12.28, 685, 6.3, 735, 0
```

Estas linhas de dados fornecem ao micro-computador as dimensões x e y (nesta ordem) dos espelhos, em escala real. Essas dimensões foram obtidas em máquina operatriz de coordenadas x, y, e z, e relógio apalpador com fração de milímetros, conforme pode ser visto na Figura 3.3 (Fotos). Uma forma alternativa de se obter estas dimensões, sem o uso da máquina operatriz, está sugerido no desenho 3.4.

```
310 FOR C= 1 TO 16 'LE PONTOS ESPELHOS
```

```
320 READ XE(C), YE(C)
```

330 NEXT C

Estas três linhas executam a leitura dos dados dos espelhos nas linhas anteriormente citadas.

340 RV = 61 * 0.65 : RF = 42 * 0.65 ' DES. DETALHE

O programa apresenta a chegada dos raios na cobertura/absorvedor em detalhe maior que a visão geral do coletor. Esta linha recalcula os diâmetros da cobertura (RV) e absorvedor (RF) nessa escala mais detalhada. Essa nova escala tem o valor 1.3/1, encontrada através da divisão do eixo y do vídeo (192) pelo comprimento do mancal (peça nº 23) igual a 140 mm (desenho CP-01, conta C5), com arredondamento. O valor 0,65 é encontrado dividindo-se 1.3 por 2, para cálculo do raio.

350 PMODE 4,5 : PCLS : SCREEN 1,1

Coloca o vídeo em modo gráfico, página 5, limpa a tela e define as cores. Essa página será a página do desenho em detalhe da chegada dos raios já citada.

360 CIRCLE (52 , 96), RV

370 CIRCLE (52, 96), RF

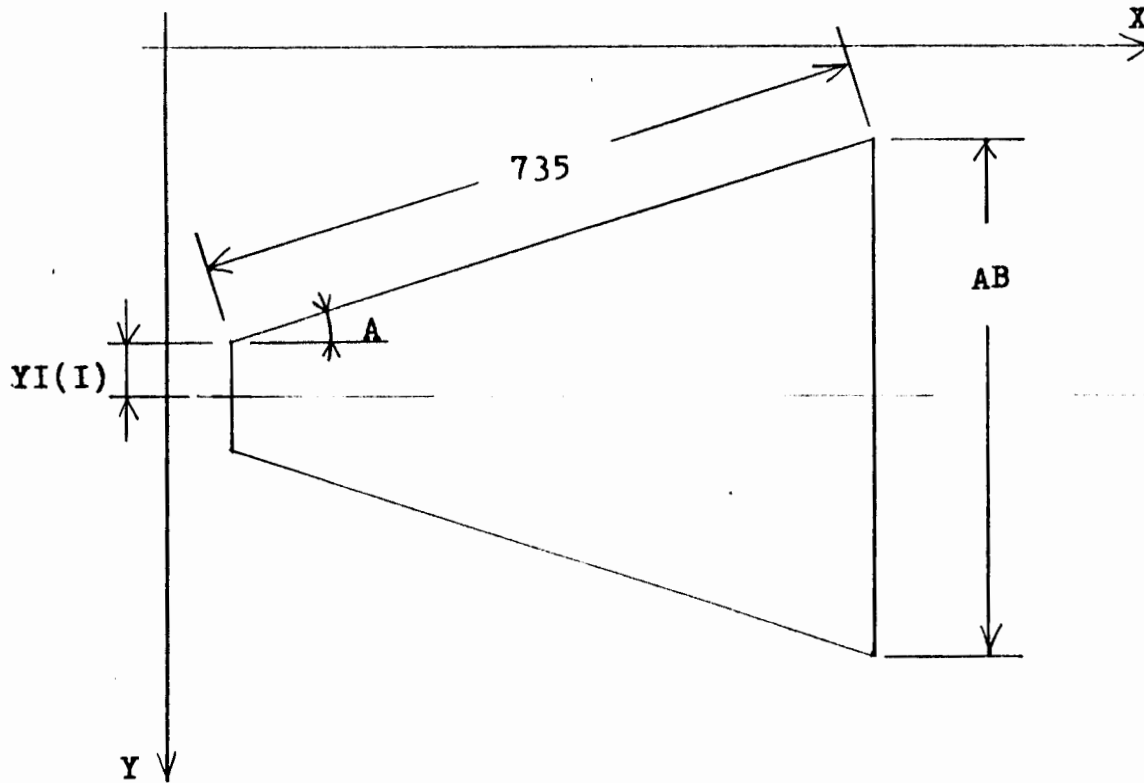
Desenha os círculos da cobertura (RV) e absorvedor (RF), centradas em $x = 52$ e $y = 96$. O valor 52 é encontrado multiplicando-se 40 por 1.3.

380 SN = ((AB - 2 * YI(I))/2/735

Calcula o seno do ângulo formado pela linha base dos espelhos e a horizontal no vídeo. O processo de cálculo pode ser visto na Fig. II.1 .

390 A = ATN (SN / SQR (- SN * SN + 1))

Calcula o ângulo dos ramos de espelho sabendo o valor de seu seno. O micro-computador (assim como outros micros) não tem a



AB = Abertura

$YI(I)$ = Posição Inicial Espelhos

AB = Abertura Espelhos

$$SN = \sin(A) = ((AB - 2 \times YI(I))/2)/735$$

$$A = \arcsin(SN)$$

Fig.II.1 - Cálculo do Ângulo dos Espelhos

função Arc Sin, e o cálculo é feito através do Arc Tan com a equação acima.

```
400 FOR N = 1 TO 16 ' CALCULA PONTOS ESPELHOS GERAL
```

```
410 XN(N) = XE(N) * COS (A)
```

```
420 YN(N) = XE (N) * SIN (A) + YE(N) * COS (A)
```

Conhecidas as dimensões x e y reais dos espelhos e o ângulo A de posicionamento destes espelhos, é possível calcular-se as novas posições X e Y dos espelhos, com as equações acima. O cálculo pode ser visto também na Fig. II.2 .

A reorientação do eixo Y foi feita para os valores de y ficarem em consonância com os valores medidos (ver linhas 270 a 330 e Figs. 3.3 e 3.4). Nas linhas 450 e 460 esta reorientação será levada em conta.

```
430 X1(N) = 12.5 + XI(1)/3.2 + XN(N) / 3.2
```

Calcula os pontos dos espelhos do ramo superior. O valor 12.5 é o centro do absorvedor, e posição de partida para medição de XI, posição da base dos espelhos. O valor 3.2 é a escala do video e XN é a posição do espelho após a movimentação angular deste.

```
440 X2 (N) = X1(N)
```

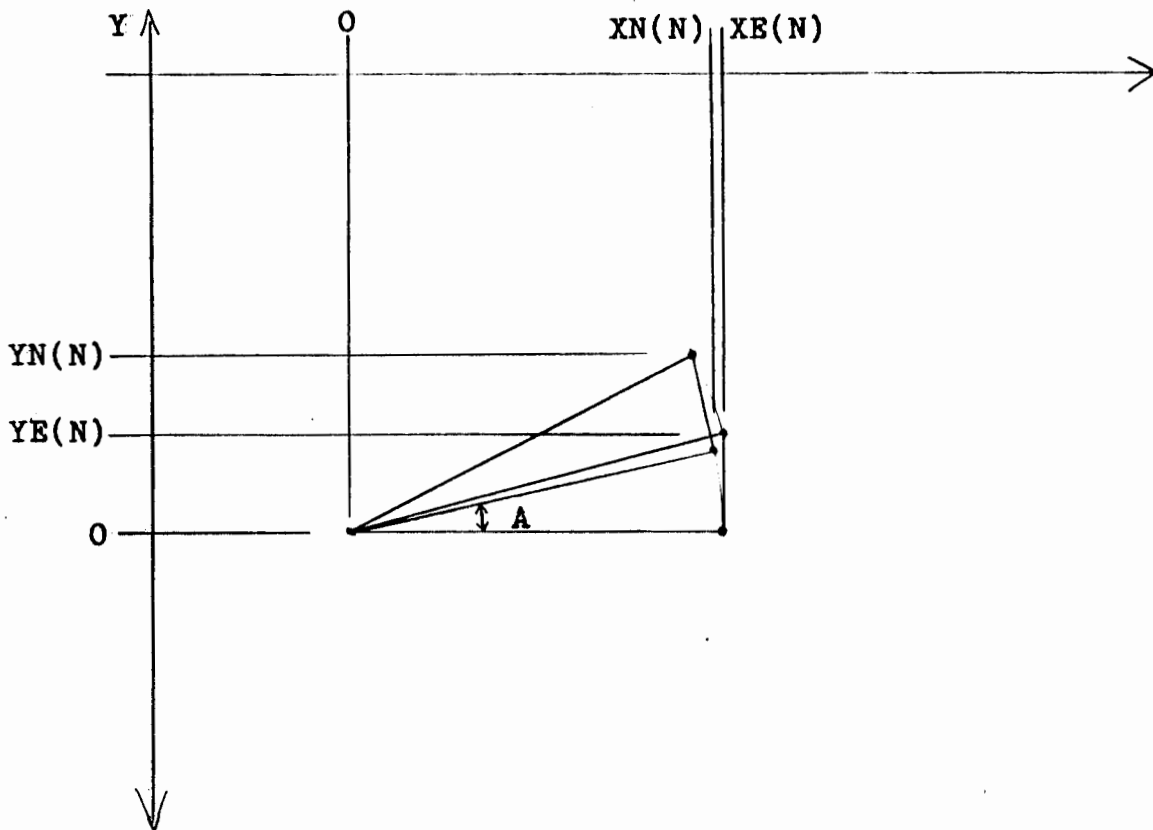
A posição X é comum para o ramo superior X1 e inferior X2.

```
450 Y1(N) = 96 - YI(1)/3.2 - YN(N)/3.2
```

```
460 Y2(N) = 96 + YI(1)/3.2 + YN(N) /3.2
```

```
470 NEXT N
```

Calcula as posições Y dos espelhos, índice 1 ramo superior e 2 ramo inferior. O valor 96 é a linha de centro dos coletores e centro do absorvedor, YI é a base dos espelhos e YN é a posição



$$XN(N) = XE(N) \times \cos(A)$$

$$YN(N) = XE(N) \times \sin(A) + YE(N) \times \cos(A)$$

Fig. II.2 - Cálculo da Posição dos Espelhos
Após Rotação de um Ângulo

dos espelhos após a abertura ou fechamento dos ramos. O índice N percorre todos os quinze espelhos que formam a parábola.

480 YD = 72.92307693 : YF = 119.076923 : XF = 61.53846153

Introduz os valores necessários para mudança de escala de 1/3.2 para 1.3/1, sendo a escala 1/3.2 a visão geral do coletor e a escala 1/3.1 a visão em detalhe do conjunto cobertura / absorvedor. A mudança de escala pode ser vista no desenho II.3 .

490 FOR N= 1 TO 8 ' INDICES ESPELHOS DETALHE

500 X3(N) = X1(N) * 4.16: X4(N) = X3(N)

510 Y3(N) = (Y1(N) - YD)* 4.16

520 Y4(N) = (Y2(N) - YD) * 4.16

530 NEXT N

Calcula os índices dos espelhos do desenho em detalhe, após conhecimento dos índices do desenho geral. Para tanto é feita a modificação de escala, conforme acima citado. O valor 4.16 provem do produto 3.2 x 1.3. São calculados somente sete espelhos pois no detalhe aparecem de 2 a 3 espelhos por ramo. O índice 3 é para o ramo superior e o 4 para o inferior.

540 N = 0

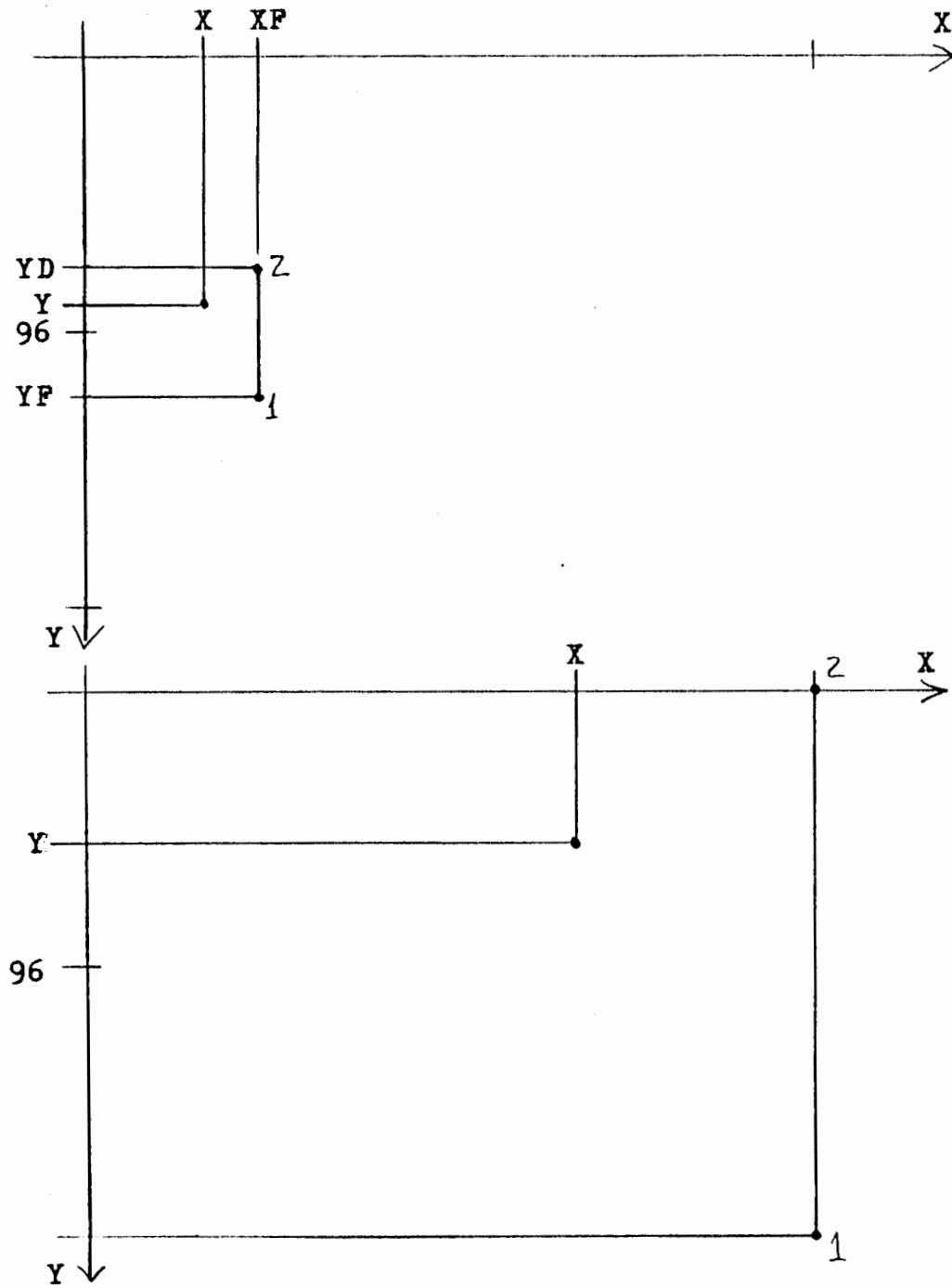
550 N = N + 1 ' TRACAR ESPELHOS DETALHE

560 IF Y3(N+1) < 0 THEN 600

570 LINE (X3(N), Y3(N))-(X3(N+1),Y3(), PSET

580 LINE (X4(N), Y4(N))-(X4(N+1),Y4(N+1)), PSET

Fig. II.3 - Mudança de Escala entre Gráficos



$$X = X \times FE$$

$$Y = (Y - YD) \times FE$$

$$FE = \text{Fator de Escala} = 4,16$$

$$YD = 72,92307693$$

$$YF = 119,076923$$

$$XF = 61,53846153$$

590 GOTO 550

Traça os espelhos no desenho em detalhe. Na linha 560 testa se o espelho não saiu fora da escala de vídeo, e nas linhas 570 e 580 traça as linhas com o comando específico LINE do micro-computador utilizado. PSET é outro comando próprio do micro que define a cor e condição de traçado da linha.

600 PMODE 4,1 : SCREEN 1,1

610 FOR N = 1 TO 15 ' TRACA ESPELHOS GERAL

620 LINE (X1(N),Y1(N))-(X1(N+1),Y1(N+1)),PSET

630 LINE (X2(N),Y2(N))-(X2(N+1), Y2(N+1)), PSET

640 NEXT N

A linha 600 coloca o micro na página de vídeo número 1, que é o desenho geral do coletor e a linha 620 traça o ramo superior dos espelhos e a linha 630 o ramo inferior dos espelhos. Os espelhos são formados por 15 segmentos de reta por ramo. Evidentemente essa conformação dos espelhos por retas, decorrentes da medição dos espelhos, não corresponde à realidade, sendo somente uma aproximação, indicativa do rendimento dos coletores. Os resultados obtidos com as simulações não são, portanto, exatas, mas uma boa aproximação da realidade.

650 FOR N= 1 TO 15 'CALCULA INDICES ESPELHOS

660 B1(N) = (Y1(N+1)-Y1(N))/(X1(N+1)-X1(N))

670 B2(N) = (Y2(N+1)-Y2(N))/(X2(N+1)-X2(N))

680 A1(N) = Y1(N)-B1(N)*X1(N)

690 A2(N) = Y2(N)-B2(N)*X2(N)

700 NEXT N

As linhas 660 e 670 calculam os índices "B" das equações das retas dos espelhos ($Y = A + BX$), e as linhas 680 e 690, os índices "A" das equações, sabendo-se dois pontos das retas, o ponto N e o ponto N+1. O processo de cálculo pode ser visto na Fig.II.4

710 B3 = (Y1(1)-96+RC)/(X1(1)-12.5)'CALCULA INDICES RETAS FUNDOS

720 B4 = (Y2(1)-96-RC)/(X2(1)-12.5)

730 A3 = Y1(1) - B3 * X1(1)

740 A4 = Y2(1) - B4 * X2(1)

Entre a base dos espelhos e a cobertura fica um espaço que poderá ser atravessado por alguns raios. Para testar se algum raio passa por este espaço é necessário o conhecimento da equação das retas que vão do fim do espelho até o raio externo da cobertura, o que é feito pelo cálculo dos coeficientes B3, B4, A3 e A4 das equações $Y = A + BX$. O índice 3 indica reta superior e 4, reta inferior, O processo de cálculo é o mesmo da Fig. II.4.

750 FOR YP = Y1(16) + ER TO Y2(16) STEP ER 'INICIA RAIOS

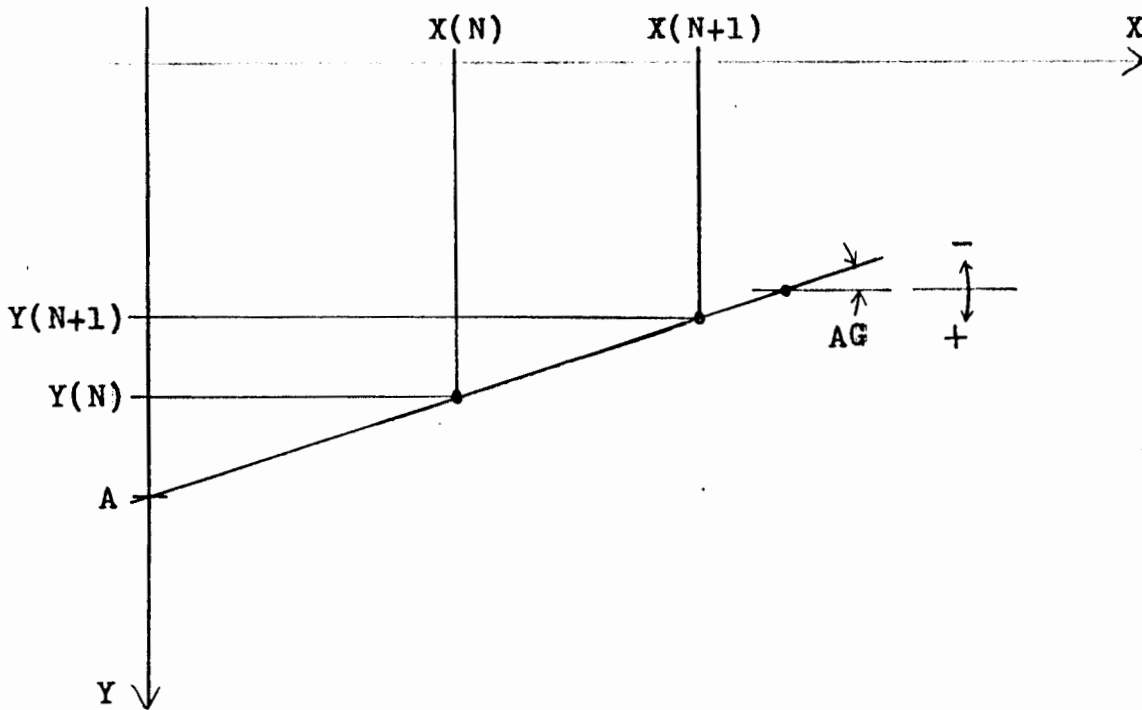
Inicia o deslocamento dos raios. YP representa a cota Y de partida dos raios. Os raios todos são posicionados na linha que une Y(16) com Y2(16), ou seja, a linha que une as bordas dos coletores, espaçados de ER, um dado de entrada inicial do programa SIMCOL.

760 CT = CT + 1

Cada vez que um raio é iniciado, ele é contado pelo contador CT.

770 AG = AI : BR = TAN(AG) : XR - 256

Fig.II.4 - Cálculo de B e A sabendo-se 2 pontos



$$Y = A + B \cdot X$$

$$B = (Y(N+1) - Y(N)) / (X(N+1) - X(N)) = \text{TAN} (AG)$$

$$A = Y(N) - B \cdot X(N)$$

$$X = (Y - A) / B$$

$$AG = \text{ATN} (B)$$

O ângulo inicial dos raios, AG, deve ser tomado igual ao ângulo de incidência AI, um dado inicial do programa. Da mesma forma, o índice da equação, BR, da reta $YR = AR + BR \times XR$ que define os raios é calculado como $TAN(AG)$. Os raios devem iniciar seu percurso na borda direita do vídeo, onde $X = 256$.

$$780 \text{ YR} = \text{YP} + \text{BR} * (256 - \text{X1}(16))$$

Deve-se calcular o valor de Y do raio na borda direita do vídeo, de onde partem efetivamente os raios, o que é feito com a equação acima.

$$790 \text{ AR} = \text{YR} - \text{BR} * 256$$

Conhecido XR, BR e YR, pode-se calcular AR, valor que falta para se conhecer completamente a equação da reta dos raios.

$$800 \text{ AA} = 1 + \text{BR} \uparrow 2 \text{ 'TESTE COBERTURA}$$

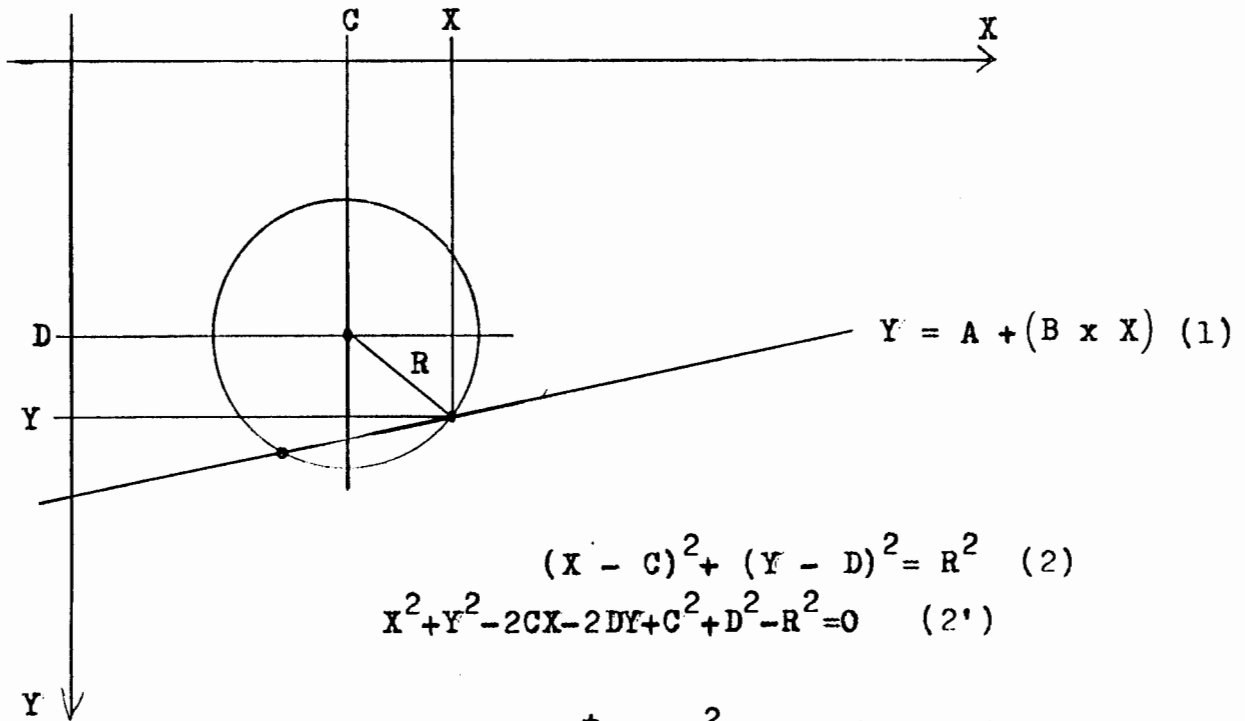
$$810 \text{ BB} = 2 * \text{AR} * \text{BR} - 192 * \text{BR} - 25$$

$$820 \text{ CC} = \text{AR} \uparrow 2 - 192 * \text{AR} + 9372.25 - \text{RC} \uparrow 2$$

$$830 \text{ Z} = \text{BB} \uparrow 2 - 4 * \text{AA} * \text{CC}$$

Ao iniciar a trajetória dos raios, o primeiro teste a ser feito é se o raio incide ou não na cobertura de vidro do absorvedor, o que inicia com os cálculos das linhas acima. Este teste pode ser visto mais detalhado na Fig.II.5. O cálculo é feito colocando-se o valor de Y da equação da reta (1) na equação da circunferência (2), mais precisamente em sua forma desenvolvida (2'). Fica-se então com uma equação quadrática em X do tipo $AX^2 + BX + C = 0$, e que é resolvida pela fórmula de Báskara (3)e(3'). Antes da solução (4) pode-se testar se a reta é secante, tangente ou exterior à circunferência, analisando-se o valor de Z, valor interno da raiz quadrada da fórmula de Báskara (5). Se Z é maior do que zero, a reta é secante, se igual a zero é tangente e se menor do que zero é exterior, ou não intercepta a circunferência

Fig.II.5 - Interseção Raio/Cobertura ou Absorvedor



$$(X - C)^2 + (Y - D)^2 = R^2 \quad (2)$$

$$X^2 + Y^2 - 2CX - 2DY + C^2 + D^2 - R^2 = 0 \quad (2')$$

$$X = \frac{-b \pm \text{SQR}(b^2 - 4ac)}{2a} \quad (3)$$

ou

$$X = \frac{-b \pm \text{SQR}(z)}{2a} \quad (3')$$

onde (4)

$$a = 1 + B^2$$

$$b = 2AB - 2C - 2DB$$

$$c = C^2 + A^2 - 2DA + D^2 - R^2$$

$$z = b^2 - 4ac$$

Se: (5)

$z = 0$, raio tangente

$z > 0$, raio secante

$z < 0$, raio externo

O valor 192 é igual à $2D(2 \times 96)$; 25 é igual à $2C(2 \times 12.5)$ e 9372.25 é igual à $C^2 + D^2 (12.5^2 + 96^2)$.

```
832 FOR T = 1 TO S↑3.7 : NEXT T
```

```
835 PMODE 4,1 : SCREEN 1,1
```

Coloca o vídeo na primeira página, onde é desenhado a vista geral do coletor. Antes, dá um tempo para amostragem do desenho em detalhe.

```
840 IF Z >= 0 THEN 1100 ' RAI0 INCIDE COBERTURA
```

É feito o teste de intersecção reta/circunferência, pela já citada análise de Z. Se Z for maior ou igual a zero, então o raio incide na cobertura do absorvedor, e o programa é desviado para a linha 1100 do programa. Se Z for menor que zero, o raio não incide e o programa passa para a linha e testes seguintes.

```
845 IF XR = 256 AND YR > (Y2(1) + BR * (256 - X2(1))) THEN 900
```

Essa linha "by-passa" o teste do ramo superior quando o raio não incidir neste ramo, para diminuir o tempo de processamento.

```
850 FOR N = 15 TO 1 STEP -1 'TESTE RAMO SUPERIOR
```

Percorre todas as retas do ramo superior.

```
860 XX = (AR - A1(N))/(B1(N) - BR)
```

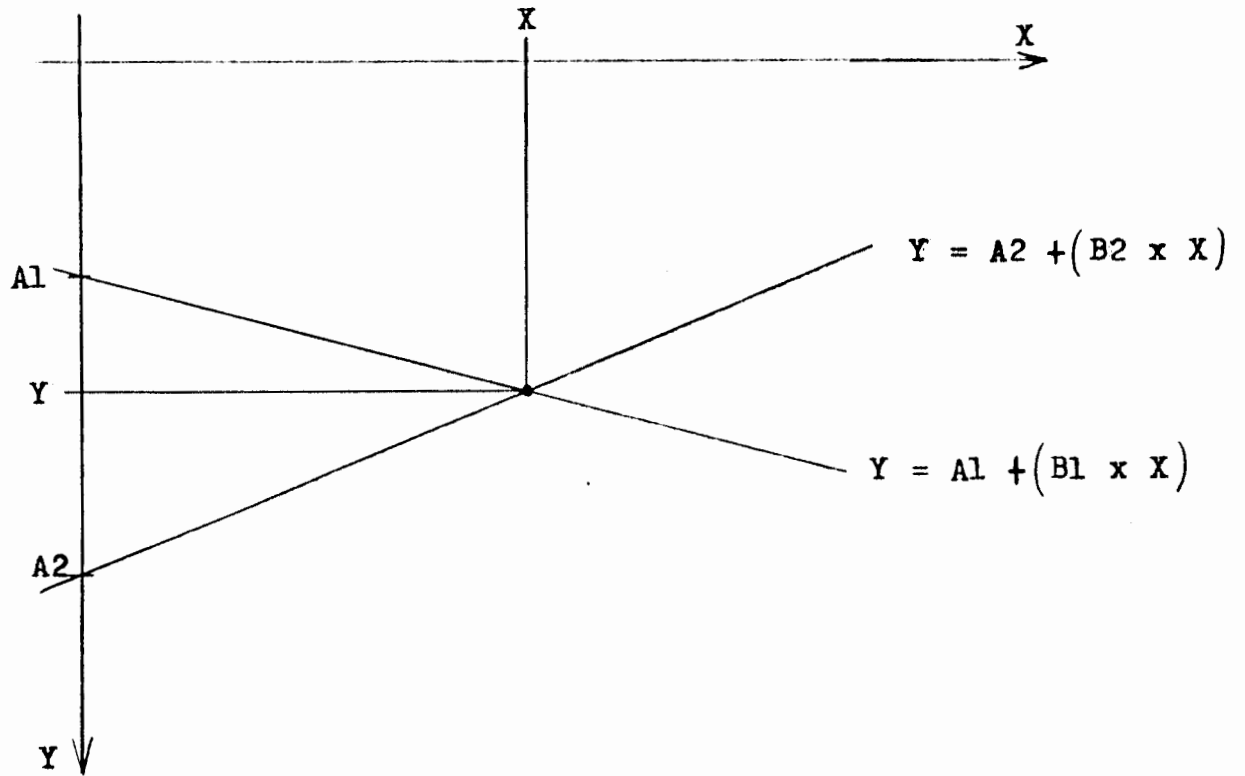
Calcula a posição X (ou XX) de intersecção das retas raio e espelho, conforme pode ser visto na Fig. II.6,

```
870 IF XX >= X1(N) AND XX <= X1(N+1) THEN 880 ELSE 890
```

```
880 IF INT(XX) <> INT(XR) THEN BE = B1(N) : GOTO 960 ' ACHOU ES-  
PELHO
```

```
890 NEXT N
```

Fig. II.6 - Interseção de Retas



$$A1 + (B1 \times X) = A2 + (B2 \times X)$$

$$A1 - A2 = X (B2 - B1)$$

$$X = (A1 - A2) / (B2 - B1)$$

$$Y = A1 + B1 ((A1 - A2) / (B2 - B1))$$

Testa se o ponto de intersecção das retas está dentro do intervalo dos segmentos de espelho, já que todas as retas não paralelas se interceptam. Testa também, quando de reflexão, se o ponto encontrado não é o próprio ponto de reflexão (linha 880). Se houve intersecção, atribui-se à BE (tangente do espelho) o valor B1(N) da reta interceptada pelo raio e se desvia o programa para linha 960 para se traçar o raio e efetuar os cálculos de reflexão do raio pelo espelho.

```
900 FOR N = 15 TO 1 STEP -1 ' TESTE RAMO INFERIOR
```

Executa o teste do ramo inferior de espelhos.

```
910 XX = (AR - A2(N))/(B2(N) - BR)
```

Procura o ponto de intersecção dos raios com o ramo inferior de espelhos.

```
920 IF XX >= X2(N) AND XX <= X2(N+1) THEN 930 ELSE 940
```

```
930 IF INT(XX) <> INT(XR) THEN BE = B2(N) : GOTO 960 ' ACHOU  
ESPELHO
```

```
940 NEXT N
```

Testa se o ponto de intersecção está no segmento de espelho e se não é o próprio ponto de reflexão.

```
950 GOTO 1030 ' TESTE FUNDO
```

Se o raio:

- Não interceptou a cobertura
- Não interceptou o ramo superior
- Não interceptou o ramo inferior

- Deve ser remetido ao teste do fundo do coletor, na linha 1030.

960 YY = AR + BR * XX ' TRACAR RAI0

No caso de intersecção em XX deve-se calcular o valor YY do ponto de intersecção.

970 LINE (XR,YR) - (XX,YY), PSET

Traça o raio desde seu local inicial até o ponto de intersecção.

980 AE = ATN(BE) ' REFLEXAO RAI0

990 AG = 2 * AE - AG

Calcula a reflexão do raio pelo espelho incidido, conforme pode ser visto na Fig.II.7 . A linha 980 calcula o ângulo do espelho refletor, e a linha 990 calcula o novo ângulo AG do raio refletido.

1000 BR = TAN(AG) : XR = XX : YR = YY

1010 AR = YR - BR * XR

Na equação do novo raio é necessário encontrar-se seus novos valores. Na linha 1000 determina-se os novos BR, XR (que passa a ser o X de intersecção) e YR (que também passa a ser o Y de intersecção). Com esses dados pode-se calcular na linha 1010 o termo que falta, AR.

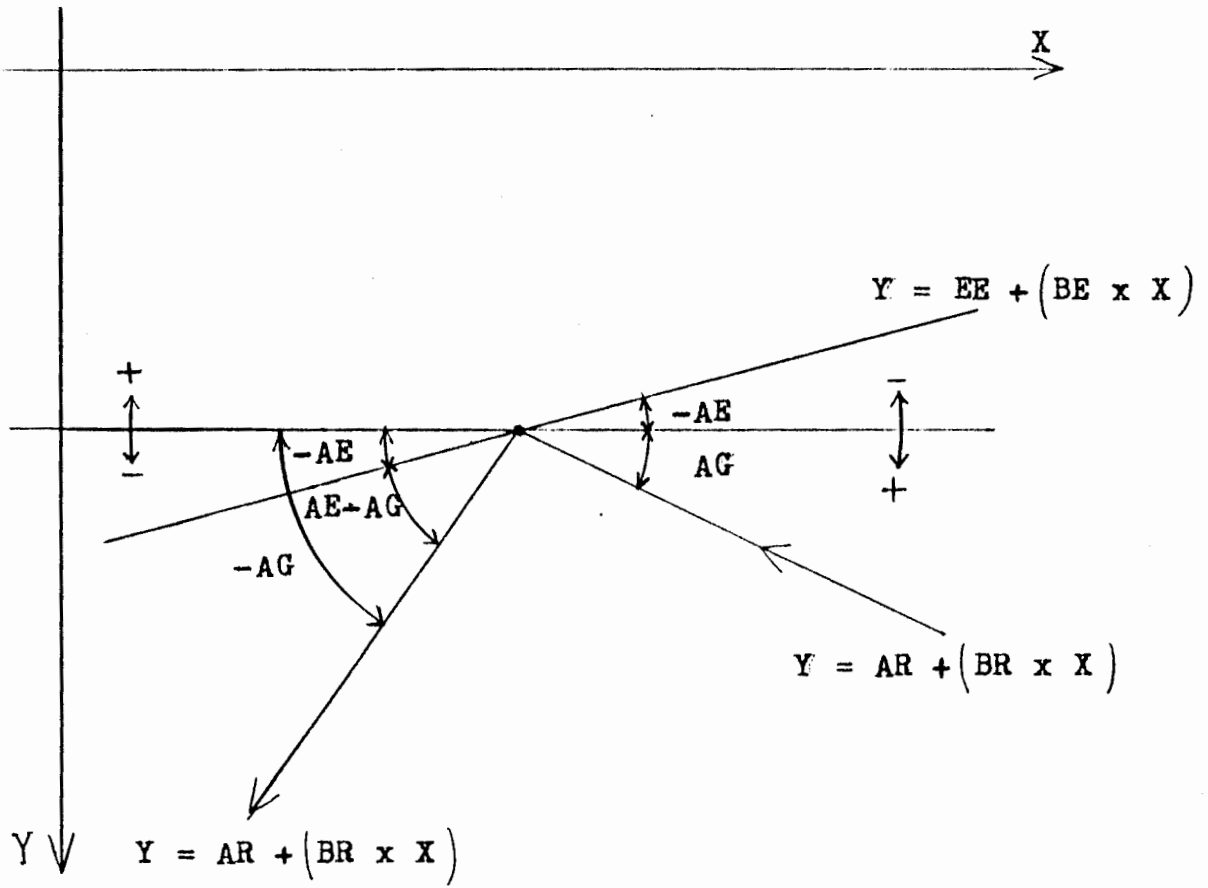
1020 GOTO 800 ' TESTE COBERTURA

Após a reflexão, deve-se reiniciar os testes de intersecção dos raios, começando (ver Fig. 3.1) com a cobertura.

1030 XX = (AR - A3)/(B3-BR) ' TESTA FUNDO SUPERIOR

Após testar a cobertura, espelho superior e espelho inferior, o programa é remetido, pela linha 950 para esta linha 1030 para

Fig. II.7 - Reflexão de um Raio por um Espelho



$$AE = \text{ATN} (BE)$$

$$AG = (2 \times AE) - AG$$

$$BR = \text{TAN} (AG)$$

teste do fundo do coletor. Este teste começa com o cálculo do valor XX de intersecção através da equação acima, conforme também pode ser visto na Fig. II.6 .

1040 IF $XX \geq 12.5$ AND $XX \leq X1(1)$ THEN 1080

Testa se o X de intersecção está dentro do espaço limitado pelo centro do absorvedor e pelo ponto inicial dos espelhos, e em caso positivo remete o programa para a linha 1080.

1050 $XX = (AR - A4)/(B4 - BR)$ ' TESTA FUNDO INFERIOR

1060 IF $XX \geq 12.5$ AND $XX \leq X2(1)$ THEN 1080

Idem às linhas 1030 e 1040, porém para a linha de fundo inferior, com seus índices específicos.

1070 $CP = CP + 1$: SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' NOVO RAI0

Se o raio não incidir na cobertura, no ramo superior, no ramo inferior e no fundo do coletor, é considerado um raio perdido, e é contado em CP. Esse tipo de raio, nas simulações efetuadas com o programa, acontece quando o raio sai do coletor após várias reflexões.

Para os raios não efetivos é emitido um som grave, para acompanhamento da simulação. A linha 1600 é o procedimento para iniciar outro raio.

1080 LINE (XR,YR) - (\emptyset ,AR), PSET

1090 $CF = CF + 1$: SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' NOVO RAI0

Se o raio sair pelo fundo, as linhas 1040 e 1060 remetem o programa para a linha 1080 onde é traçado o raio. A linha 1090 faz a contagem dos raios que saem pelo fundo, em CF, emite o som grave de raio não efetivo e remete para a linha 1600 para início de um novo raio.

1100 $XA = (-BB + \text{SQR}(Z))/(2*AA)$ ' INTERSECAO COBERTURA

1110 $XT = (-BB - \text{SQR}(Z))/(2*AA)$

Se o raio incidir na cobertura, é remetido pela linha 840 para esta linha, para se procederem os cálculos de intersecção. Em primeiro lugar, são calculadas as duas cotas X de intersecção, ou uma se o raio for tangente.

Para XA atribui-se o maior valor de X, devido ao sinal positivo da equação, e para XT o menor valor, devido ao sinal negativo. (Ver também Fig.II.5).

1120 $YA = AR + BR * XA$

1130 $YT = AR + BR * XT$

Calculados XA e XT, sabendo-se que a intersecção existe, pode-se, com a equação do raio calcular YA e YT, cotas da intersecção. (Obs: Ver Post-Scriptum).

1140 $\text{LINE}(XR, YR) - (XA, YA)$, PSET

Traça a linha do raio desde o seu ponto atual até o ponto de intersecção com a cobertura.

1145 FOR T = 1 TO S↑3.7 : NEXT T

1150 PMODE 4,5 : SCREEN 1,1 ' DETALHE

Coloca o micro e o vídeo na página nº 5, onde está o desenho da cobertura e absorvedor em detalhe. Antes dá um tempo para amostragem do desenho geral.

1160 IF $XR > XF$ THEN 1200

1170 IF $YR < YD$ THEN 1200

1180 IF $YR > YF$ THEN 1200

1190 GOTO 1240

Verifica se o ponto de origem atual do raio está dentro ou fora do campo de ampliação do vídeo, pois para cada uma das duas alternativas devem ser tomadas soluções diferentes. Se estiver fora do campo, o programa é remetido para a linha 1200, se estiver dentro, para a linha 1240. (Ver Fig.II.3).

1200 YR = AR + BR * XF

Para um ponto fora do campo de ampliação, esta equação calcula o valor de Y na linha XF, para saber-se por onde o raio entra no campo de ampliação.

1210 IF YR >= YD AND YR <= YF THEN XR = XF : GOTO 1240

Se o teste for verdadeiro então o raio entra pelo lado 1-2 do retângulo de ampliação e nesse caso deve-se fazer a consideração que $XR = XF$ e YR é o valor calculado. Após, faz-se a correção normal da linha 1240 em diante.

1220 IF YR <= YD THEN XR = (YD - AR)/BR : YR = YD : GOTO 1240

Se este teste for verdadeiro, o raio entra no campo de ampliação pela aresta YD-2, e então considera-se que $YR = YD$ e calcula-se XR, o ponto que o raio entra no referido campo. Após são feitas as correções normais da linha 1240 em diante.

1230 IF YR >= YF THEN XR = (YF - AR)/BR : YR = YF

Se este teste for verdadeiro o raio entra pela aresta YF - 1 e então $YR = YF$ e a equação calcula o valor XR por onde entra o raio. Após, vai-se para a linha 1240, onde se fazem as considerações normais.

1240 XR = XR * 4.16 : CORRECAO ESCALA

1250 YR = (YR - YD) * 4.16

1260 XA = XA * 4.16 : YA = (YA - YD) * 4.16

1270 XT = XT * 4.16 ; YT = (YT - YD) * 4.16

Aumento de escala, conforme desenho II.3, para os pontos necessários aos traçados dos raios.

1280 LINE (XR,YR) - (XA,YA), PSET

Desenha o raio chegando na cobertura, no desenho em detalhe. O programa só desenha em detalhe a chegada dos raios na cobertura. Se o raio chega no espelho, esse passo não é desenhado em detalhe.

1290 IF Z = 0 THEN C6 = C6 + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' TESTE
ANGULO E NOVO RAI0

Após a chegada do raio na cobertura é feito o teste do ângulo de chegada deste raio. Aceita-se como condição boa quando o raio chega (ver Fig. II.8) com ângulo menor ou igual a 60° . O primeiro teste é quanto ao valor de Z (ver Fig. II.5) pois sabe-se que $Z=0$ indica raio tangente à cobertura. Se Z for maior que zero, o programa passa para a linha seguinte. Se a reta for tangente, conta-se esta reta em C6 e o micro-computador emite o som grave de raio não efetivo e passa para um novo raio.

1300 TT = ATN((YA - 96)/(XA - 52))

1310 AC = TT - AG

1320 IF AC <= PI/3 AND AC >= - PI/3 THEN 1340

1330 C6 = C6 + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' NOVO RAI0

Se Z for maior que zero, deve-se calcular o ângulo de chegada do raio na cobertura, conforme Fig. II.8. A linha 1300 calcula o ângulo existente entre o ponto de intersecção e o eixo X. A linha 1310 calcula o ângulo entre o ponto e o raio que chega na cobertura, e a linha 1320 verifica se este ângulo menor ou igual a 60° , positiva ou negativamente.

Se o ângulo for menor ou igual a 60° , o programa é desviado

para a linha 1340, para prosseguir o deslocamento do raio. Se o ângulo for maior que 60° , este raio é contado em C6, o micro emite o som grave de raio não efetivo e inicia um novo raio.

1350 AR = YR - BR * XR ' TESTE ABSORVEDOR

Se o raio passou pela cobertura, o próximo teste a ser feito é se ele intercepta o absorvedor e com que ângulo. Para tanto, o primeiro passo a ser dado é recalcular a equação do raio, agora na escala ampliada (detalhe).

1360 AA = 1 + BR ↑ 2

1370 BB = 2 * AR * BR - 192 * BR - 104

1380 CC = AR ↑ 2 - 192 * AR + 11920 - RF ↑ 2

O teste de intersecção raio/absorvedor segue o descrito na Fig. II.5, através das fórmulas de Báskara (3) e (3'), cujos índices "a", "b" e "c" são calculados acima. O valor 192 é igual a 2×96 , o valor 104 é igual a 2×52 e o valor 11920 é igual a $96^2 + 52^2$. O símbolo RF, para lembrar, é o raio do absorvedor na escala ampliada do detalhe.

1390 Z = BB ↑ 2 - 4 * AA * CC

Calcula o valor interno da raiz quadrada da fórmula de Báskara, conforme Fig. II.5

1400 IF Z > = 0 THEN 1430

Se o valor de Z for maior ou igual a zero, o raio intercepta o absorvedor, e o programa é remetido para a linha 1430 para teste de ângulo de chegada do raio no absorvedor. Se Z for menor que zero, o raio não intercepta o absorvedor e se desloca no "gap", o que é feito na linha seguinte.

1410 LINE (XA, YA) - (XT, YT), PSET ' RAI0 GAP

Traça o raio dentro do espaço do "gap", entre os pontos "A" e

e "T" calculados nas linhas 1260 e 1270.

1420 CG = CG + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' NOVO RAI0

Se o raio ficou no "gap", é contado em CG, e após o micro-computador emite o som grave de raio não efetivo e vai para a linha 1600 iniciar um novo raio.

1430 XX = (-BB + SQR(Z))/(2 * AA)

1440 YY = AR + BR * XX

Se o raio intercepta o absorvedor, é necessário calcular o ponto de intersecção, o que é calculado com XX e YY. (Ver Post Scriptum).

1450 LINE (XA,YA) - (XX,YY), PSET

Traça o raio desde o ponto de entrada na cobertura até ponto de intersecção com o absorvedor.

1460 IF Z = 0 THEN CA = CA + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' TESTE
ÂNGULO E NOVO RAI0

Se Z (a linha 1390) for igual a zero, o raio é tangente ao absorvedor, e chega então com ângulo maior que 60°, raio pois inefetivo. É então contado em CA, o micro emite o som grave de raio não efetivo e segue para iniciar um novo raio.

1470 TT = ATN((YY - 96)/(XX - 52))

1480 AC = TT - AG

Após o raio chegar no absorvedor, procede-se o cálculo do ângulo de chegada, conforme Fig. II.8. O significado dos elementos acima é o mesmo das linhas 1300 e 1310.

1490 IF AC <= PI/3 AND AC >= - PI/3 THEN 1510

Se o ângulo de chegada for menor ou igual à 60°, positiva ou negativamente, o programa é desviado para a linha 1510, se for maior, para a linha seguinte.

1500 CA = CA + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' NOVO RAI0

Se o raio chegar com ângulo maior que 60° é contado em CA, o micro emite o som grave de raio não efetivo e segue para iniciar um novo raio.

1510 CB = CB + 1 : SOUND 170,3

Finalmente, esta linha é ativada quando o absorvedor recebe um raio com ângulo menor ou igual a 60°, considerado então raio efetivo. Esse raio é contado em CB e o micro emite um som agudo de raio efetivo e passa para a linha seguinte, para iniciar um novo raio.

1600 NEXT YP ' NOVO RAI0

Após definido o traçado e destino do raio, é iniciado um novo raio, retornando o programa à linha 750.

1610 FOR N = 1 TO 3 : SOUND 128,3 : NEXT N

Após o programa terminar todos os raios, gera 3 bips em tom intermediário, para avisar o término dos raios.

1650 GOTO 1650

Mantém o micro mostrando no vídeo o desenho em detalhe do absorvedor, cobertura e raios que incidem na cobertura e absorvedor.

2000 CLS

Limpa a tela para amostragem dos resultados da simulação.

2010 PRINT "POS INIC.(0 A 10, PROJ = 7)="; I

2020 PRINT "ABERT.(0 A 480, PROJ= 422)="; AB

2030 PRINT "ESP. RAIOS(1 A 20)="; ER

2040 PRINT "ANG.INIC. (0 A 6)="; AF

Escreve na tela os principais dados iniciais da simulação.

```
2050 PRINT "TOTAL RAIOS ="; CT
```

Escreve o total de raios participantes da simulação.

```
2060 PRINT "RAIOS COBERTURA > 60 GR.="; C6
```

Escreve quantos raios chegaram na cobertura com ângulo maior que 60 graus.

```
2070 PRINT "RAIOS GAP="; CG
```

Escreve quantos raios passaram pela cobertura e não incidiram no absorvedor, passando pelo espaço do "gap".

```
2080 PRINT "RAIOS ABSORVEDOR >60 GR.="; CA
```

Escreve quantos raios chegaram no absorvedor com ângulo maior que 60 graus.

```
2090 PRINT "RAIOS BONS="; CB
```

Escreve quantos raios chegaram no absorvedor com ângulo menor ou igual a 60 graus, ou seja, raios realmente efetivos.

```
2100 PRINT "RAIOS FUNDO="; CF
```

Escreve quantos raios saíram pelo espaço entre cobertura e espelhos, indo ao fundo do coletor.

```
2110 PRINT "RAIOS PERDIDOS="; CP
```

Escreve quantos raios não tiveram um fim determinado nas linhas acima. Nas simulações efetuadas, determina quantos raios retornaram e saíram pela abertura do coletor.

```
2130 PRINT "FAT.INTERC="; CB/CT
```

Escreve o fator de interceptação (δ) do coletor, igual à relação entre os raios bons (que efetivamente chegaram ao absorvedor) e o total de raios gerados. É uma das razões da elaboração deste programa.

2140 PRINT "INTERC.DIMENS.="; (CB/CT) * AB

Escreve o produto $\delta \times AB$, ou seja, o produto do fator de interceptação vezes a abertura do coletor, já que, melhor que um grande fator de interceptação é um grande produto fator de interceptação vezes abertura.

2150 GOTO 2150

Mantém o micro mostrando a listagem acima.

2200 PMODE 4,1 : SCREEN 1,1

2250 GOTO 2250

Mostra na tela do vídeo o desenho geral do coletor.

2400 PMODE 4,5 : SCREEN 1,1

2450 GOTO 2450

Mostra na tela do vídeo o desenho em detalhe do conjunto absorvedor-cobertura-raios.

Post-Scriptum: O programa acima mostrado certamente não é definitivo, e certamente tem muitos pontos a serem melhorados e aprimorados. Após a datilografia acima, durante as simulações efetuadas já apareceram algumas melhorias, que são agora apresentadas.

1135 IF SQR((XR - XT) \uparrow 2 + (YR - YT) \uparrow 2) < SQR ((XR - XA) \uparrow 2 + (YR - YA) \uparrow 2) THEN XP = XA : XA = XT : XT = XP : GOTO 1120

Durante as simulações notou-se que alguns raios, quando o ângulo de incidência era grande, de 5 a 6 graus, refletiam no espelho inferior e tomavam movimento no sentido de saírem do coletor. Como a trajetória dos raios é originalmente traçada em direção do maior X de intersecção raio/cobertura (linhas 1100 e 1110), o raio no programa original atravessava o absorvedor, situação irreal. Para corrigi-la deve ser testado qual ponto está mais próximo do

ponto de reflexão, sem preocupação com qual tem maior valor. Esta linha, 1135, conforme Fig. II.9, testa a distância dos pontos, e se necessário, troca os pontos.

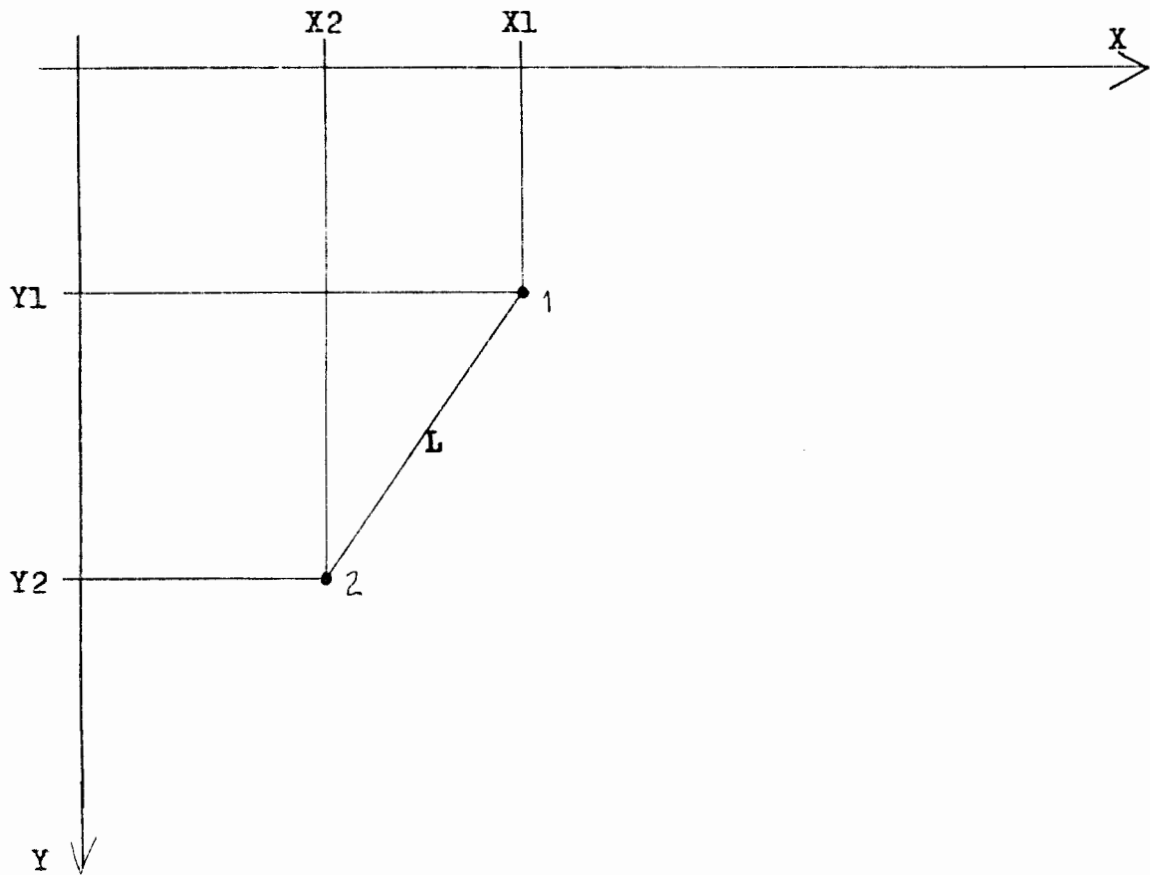
```
1435 XL = (- BB - SQR(Z))/(2 * AA)
```

```
1445 YL = AR + BR * XL
```

```
1447 IF SQR((XR - XL)2 + (YR - YL)2) < SQR((XR - XX)2 +
      (YR - YY)2) THEN XP=XX : XX=XL : XL=XP : GOTO 1440
```

É uma melhoria do programa pelas mesmas razões da inclusão da linha 1135, para evitar que raios que estejam saindo do coletor cruzem o absorvedor. É o mesmo teste da linha 1135, com a diferença que esta linha 1135 testa a cobertura, e as linhas 1435 e 1447 testam o absorvedor.

Fig.II.9 - Cálculo da Distância entre Dois Pontos



$$L^2 = (X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2$$

$$L = \text{SQR} ((X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2)$$

Listagem do Programa SimCol

```

10  REM  SIMCOL
20  PCLEAR 8'DECLARAÇÕES
30  DIM XI (11), YI (11), XE(16), YE (16), XN (16), YN (16)
40  DIM XI (16), YI (16), X2 (16), Y2 (16), A1 (15), B1 (15)
    A2 (15), B2 (15)
50  DIM X3 (8), Y3 (8), X4 (8), Y4 (8)
60  PI = 3.141592654
70  INPUT" POS. INICIAL (0 A 10, PROJ-7)"; I' ENTRADA DADOS
80  INPUT "ABERTURA (0 A 480, PROJ = 422)"; AB
90  INPUT "ESPAÇAMENTO RAIOS (1 A 20)"; ER
100 INPUT "ANGULO DE INCIDENCIA (0 A 6)"; AI
105 INPUT "TEMPO DESENHO (1 A 10)"; S
110 PRINT "TERMINA AOS 3BIFS"
120 PRINT "TEXTO = BREAK e GOTO 2000"
130 PRINT "DESGERAL = BREAK e GOTO 2200"
140 PRINT "DETALHE = BREAK e GOTO 2400"
150 INPUT "TUDO BEM (S/N)"; D $
160 IF D$ <> "S" THEN 70
170 RC = 61/6.4 : RA = 42/6.4'DES GERAL
180 PMODE 4,1 : PCLS : SCREEN 1,1
190 CIRCLE (12.5,96), RC
200 CIRCLE (12.5,96), RA
210 AF = AI : AI = (AI/180) * PI
220 DATA 2,42, 2.8,41, 3.3,40, 4, 39.2, 4.5, 38.5
230 DATA 5,37.6, 5.8,37, 6.5, 36, 7,35.2, 7.6, 34.4, 8.2,33.6
240 FOR C= 0 TO 10' LE BASE ESPELHOS
250 READ XI (C), YI (C)
260 NEX T C
270 DATA 0,0, 35, 5.65, 85, 13.52, 135, 19.77, 185, 24.21
280 DATA 235, 27.39, 285, 29.37, 335, 30.07, 385, 29.57
290 DATA 435, 27.89, 485, 25.45, 535, 21.89, 585, 17.61
300 DATA 635, 12.28, 685, 6.3, 735,0
310 FOR C = 1 TO 16 ' LE PONTOS ESPELHOS
320 READ XE(C), YE (C)
330 NEXT C

```



```

340 RV = 61 * 0.65 : RF = 42 * 0.65 ' DES. DETALHE
350 PMODE 4.5 : PCLS : SCREEN 1,1
360 CIRCLE (52, 96), RV
370 CIRCLE (52, 96), RF
380 SN = ((AB - (2* YI (I)))/2) / 735
390 A = ATN (SN/SQR (-SN * SN + 1) )
400 FOR N = 1 TO 16' CALCULA PONTOS ESPELHOS GERAL
410 XN (N) = XE (N) * COS(A)
420 YN (N) = XE (N) * SIN (A) + YE (N) * COS (A)
430 X1 (N) = 12,5 + XI (I) / 3.2 + XN (N) / 3.2
440 X2 (N) = X1 (N)
450 X1 (N) = 96 - YI(I) / 3.2 - YN (N) / 3.2
460 Y2 (N) = 96 + YI (I) / 3.2 + YN (N) / 3.2
470 NEXT N
480 YD = 72.92307693 : YF = 119.076923 : XF = 6153846153
490 FOR N = 1 TO 8' INDICES ESPELHOS DETALHE
500 X3 (N) = X1 (N) * 4.16 : X4 (N) = X3 (N)
510 Y3 (N) = (Y1 (N) - YD) * 4.16
520 Y4 (N) = (Y2 (N) - YD) * 4.16
530 NEXT N
540 N = 0
550 N = N + 1' TRAÇAR ESPELHOS DETALHE
560 IF Y3 (N+1) < 0 THEN 600
570 LINE (X3(N), Y3(N)) - ( X3(N+1), Y3(N+1) ), PSET
580 LINE (X4 (N), Y4 (N) ) -(X4 (N+1), Y4 (N+1) ), PSET
590 GOTO 550
600 PMODE 4,1 : SCREEN 1,1
610 FOR N = 1 TO 15 ' TRAÇA ESPELHOS GERAL
620 LINE (S1 (N), Y1 (N) ) - (X1 (N+1) , Y1 (N+1) ), PSET
630 LINE (X2 (N), Y2 (N) ) -(X2 (N+1), Y2 (N+1) ), PSET
640 NEXT N
650 FOR N = 1 TO 15' CALCULA INDICES ESPELHOS
660 B1 (N) = (Y1 (N+1) - Y1 (N) ) / ( X1 (N+1) - X1 (N) )
670 B2 (N) = (Y2 (N+1) - Y2 (N) ) / ( X2 (N+1) - X2 (N) )

```

```

680 A1(N) = Y1 (N) - B1 (N) * X1 (N)
690 A2 (N) = Y2 (N) - B2 (N) * X2 (N)
700 NEXT N
710 B3 = (Y1(1) - 96 + RC) / (X1(1) - 12.5) ' CALCULA INDICES RETAS
                                                FUNDOS
720 B4 = (Y2(1) - 96 - RC) / (X2(1) - 12.5)
730 A3 = Y1(1) - B3 * X1(1)
740 A4 = Y2(1) - B4 * X2(1)
750 FOR YP = Y1 (16) + ER TO Y2 (16) STEP ER ' INICIA RATOS
760 CT = CT + 1
770 AG = AI : BR = TAN (AG) : XR = 256
780 YR = YP + BR * (256 - X1 (16))
790 AR = YR - BR * 256
800 AA = 1 + BR ↑ 2 ' TESTE COBERTURA
810 BB = 2 * AR * BR - 192 * BR - 25
820 CC = AR ↑ 2 - 192 * AR + 9372.25 - RC ↑ 2
830 Z = BB ↑ 2 - 4 * AA * CC
832 FOR T = 1 TO S ↑ 3.7 : NEXT T
835 PMODE 4.1 : SCREEN 1,1
840 IF Z >= 0 THEN 1100 ' RATIO INCIDE COBERTURA
845 IF XR = 256 AND XR > (Y2(1) + BR * (256 - X2 (1))) THEN 900
850 FOR N = 15 TO 1 STEP - 1 ' TESTE RAMO SUPERIOR
860 XX = (AR - A1 (N)) / (B1 (N) - BR)
870 IF XX >= X1 (N) AND XX <= X1 (N+1) THEN 880 ELSE 890
880 IF INT (XX) <> INT (XR) THEN BE = B1 (N) : GOTO 960 ' ACHOU ES
                                                PELHO
890 NEXT N
900 FOR N = 15 TO 1 STEP - 1 ' TESTE RAMO INFERIOR
910 XX = (AR - A2 (N) ) / (B2 (N) - BR)
920 IF XX >= X2 (N) AND XX <= X2 (N+1) THEN 930 ELSE 940
930 IF INT (XX) <> INT (XR) THEN BE = B2 (N) : GOTO 960 ' ACHOU
                                                ESPELHO
940 NEXT N
950 GOTO 1030 ' TESTE FUNDO

```

```

960 XX = AR + BR * XX ' TRAÇAR RAI0
970 LINE (XR, YR) - (XX, YY), PSET
980 AE = ATN (BE) ' REFLEXÃO RAI0
990 AG = 2 * AE - AG
1000 BR = TAN (*G) : XR = XX : YR = YY
1010 AR = YR - BR * XR
1020 GOTO 800 'TESTE COBERTURA
1030 XX = (AR - A3) / (B3 - BR) ' TESTA FUNDO SUPERIOR
1040 IF XX >= 12.5 AND XX <= X1 (1) THEN 1080
1050 XX = (AR - A4) / (B4 - BR) ' TESTA FUNDO INFERIOR
1060 IF XX >= 12.5 AND XX <= X2 (1) THEN 1080
1070 CP = CP + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' NOVO RAI0
1080 LINE (XR, YR) - (Ø, AR), PSET
1090 CF = CF + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 'NOVO RAI0
1100 XA = (-BB + SQR (Z) ) / (2 * AA) ' INTERSEPTAÇÃO COBERTURA
1110 XT = (-BB - SQR (Z) ) / (2* AA)
1120 YA = AR + BR * XA
1130 YT = AR + BR * XT
1135 IF SQR ((XR - XT)↑2 + (YR - YT)↑2) < SQR ((XR - XA)↑2 +
(YR - YA)↑2) THEN XP = XA : XA = XT : XT = XP : GOTO 1120
1140 LINE (XR, YR) - (XA, YA), PSET
1145 FOR T = 1 TO S↑3.7 : NEXT T
1150 PMODE 4,5 : SCREEN 1,1 'DETALHE
1160 IF XR > XF THEN 1200
1170 IF YR < YD THEN 1200
1180 IF YR > YF THEN 1200
1190 GOTO 1240
1200 YR = AR + BR * XF
1210 IF YR >= YD AND YR <= YF THEN XR = XF : GOTO 1240
1220 IF YR <= YD THEN XR = (YD - AR) / BR : YR = YD : GOTO 1240
1230 IF YR >= YF THEN XR = (YF - AR) / BR : YR = YF
1240 XR = XR * 4.16 ' CORREÇÃO ESCALA
1250 YR = (YR - YD) * 4.16
1260 XA = XA * 4.16 : YA = (YA - YD) * 4.16

```

```

1270 XT = XT * 4.16 : YT = (YT - YD) * 4.16
1280 LINE (XR.YR) - (XA, YA), PSET
1290 IF Z = 0 THEN C6 = C6 + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' TESTE
                                     ANGULO E NOVO RAI0
1300 TT = ATN ( (YA - 96 ) / (XA - 52))
1310 AC = TT - AG
1320 IF AC < = PI/3 AND AC > = -PI/3 THEN 1340
1330 C6 = C6 + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600' NOVO RAI0
1340 BR = (YA - YR) / (XA - XR) ' TESTE ABSORVEDOR
1350 AR = YR - BR * XR
1360 AA = 1 + BR 2
1370 BB = 2 * AR * BR - 192 * BR - 104
1380 CC = AR ↑ 2 - 192 * AR + 11.920 - RF ↑ 2
1390 Z = BB ↑ 2 - 4 * AA * CC
1400 IF Z > = 0 THEN 1430
1410 LINE (XA, YA) - (XT, YT), PSET ' RAI0 GAP
1420 CG = CG + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600' NOVO RAI0
1430 XX = (-BB + SQR (Z)) / (2* AA) ' RAI0 AO ABSORVEDOR
1435 XL = (-BB - SQR (Z)) / (2*AA)
1440 XX = AR + BR * XX
1445 YL = AR + BR * XL
1447 IF SQR ((XR - XL) ↑ 2 + (YR - YL) ↑ 2) < SQR (XR - XX) ↑ 2 +
      (YR - YY) ↑ 2) THEN XP = XX: XX = XL : XL = XP : GOTO 1440
1450 LINE (XA, YA) - (XX, YY), PSET
1460 IF Z = 0 THEN CA = CA + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600' TESTE
                                     ANGULO E NOVO RAI0
1470 TT = ATN ((YY - 96)/(XX-52))
1480 AC = TT - AG
1490 IF AC < = PI / 3 AND AC > = - PI / 3 THEN 1510
1500 CA = CA + 1 : SOUND 85,3 : GOTO 1600 ' NOVO RAI0
1510 CB = CB + 1 : SOUND 170,3
1600 NEXT YP ' NOVO RAI0
1610 FOR N= 1 TO 3 : SOUND 128,3 : NEXTN
1650 GOTO 1650
2000 CLS

```

```
2010 PRINT " POS. INIC. (OA10, PROJ = 7) = "; I
2020 PRINT " ABERT. (O A 480, PROJ = 422) ="; AB
2030 PRINT " ESP. RAIOS (1 A 20) ="; ER
2040 PRINT " ANG. INC. (O A 6) ="; AF
2050 PRINT " TOTAL RAIOS ="; CT
2060 PRINT " RAIOS COBERTURA > 60 GR = "; C6
2070 PRINT " RAIOS GAP = "; CG
2080 PRINT " RAIOS ABSORVEDOR > 60 GR = "; CA
2090 PRINT " RAIOS BONS ="; CB
2100 PRINT " RAIOS FUNDO = "; CF
2110 PRINT" RAIOS PERDIDOS = "; CP
2130 PRINT " FAT. INTERC. = "; CB/ CT
2140 PRINT " INTERC DIMENS = "; (CB/CT) * AB
2150 GOTO 2150
2200 PMODE 4,1 : SCREEN 1,1
2250 GOTO 2250
2400 PMODE 4,5 : SCREEN 1,1
2450 GOTO 2450
```

Relação de Elementos Utilizados no Programa SIMCOL -
- Simulação de Coletores

- A = Ângulo dos ramos de espelhos
- AA = Valor da formula de Baskara para teste de interseção raios/
cobertura e raios/absorvedor
- AB = Abertura dos coletores
- AC = Ângulo de chegada dos raios na cobertura e absorvedor
- AE = Ângulo dos espelhos interceptados pelos raios
- AF = Ângulo de partida dos raios em graus
- AG = Ângulo dos raios
- AI = Ângulo de partida dos raios em radianos
- AR = Índice dos raios na equação da reta
- A1 = Índice das equações das retas dos espelhos superiores
- A2 = Índice das equações das retas dos espelhos inferiores
- A3 = Índice da reta do fundo, superior
- A4 = Índice da reta do fundo, inferior
- BB = Valor da formula de Baskara para teste de interseção raios
/cobertura e absorvedor
- BE = Tangente do espelho interceptado
- BR = Tangente dos raios na equação da reta
- B1 = Tangente das retas dos espelhos superiores
- B2 = Tangente das retas dos espelhos inferiores
- B3 = Tangente da reta fundo superior
- B4 = Tangente da reta fundo inferior
- C = Contador Comandos DATA/READ
- CA = Contador dos raios que chegam no absorvedor com ângulo de
incidência maior que 60°
- CB = Contador dos raios que chegam nas condições ideais no
absorvedor
- CC = Índice para a fórmula de Baskara de teste de interseção
raios/cobertura e absorvedor
- CF = Contador dos raios que saem pelo fundo do coletor
- CG = Contador dos raios que se deslocam pelo espaço anular
"gap"

CP = Contador dos raios "perdidos" ou que retornam e saem pela frente do coletor
 CT = Contador do total de raios
 C6 = Contador dos raios que chegam com mais de 60 graus na cobertura
 D\$ = Decisão intermediária
 ER = Espaçamento entre raios
 I = Posição inicial dos espelhos
 N = Contador dos comandos FOR/NEXT (Contador dos espelhos)
 PI = Constante π
 RA = Raio do absorvedor, escala 1/3.2
 RC = Raio da cobertura, escala 1/3.2
 RF = Raio do absorvedor, escala 1.3/1
 RV = Raio da cobertura, escala 1.3/1
 S = Tempo amostragem escala 1.3/1 e 1/3.2
 SN = Seno do ângulo dos ramos de espelhos
 T = Contador tempo
 TT = Ângulo da interseção raios/cobertura e absorvedor
 XA = X maior na interseção raios/cobertura
 XE = Pontos medidos dos espelhos
 XF = X para troca de escala
 XI = Posição inicial na base dos espelhos
 XL = X para teste distância absorvedor
 XN = Posição angular dos espelhos escala real
 XP = X provisório na troca XA por XT
 XR = Posição X dos raios na equação da reta
 XT = X menor na interseção raios/ cobertura
 XX = Posição para teste de interseção
 X1 = Posição das retas dos espelhos, ramo superior, escala vídeo 1/3.2
 X2 = Posição das retas dos espelhos, ramo inferior, escala vídeo 1/3.2
 X3 = Posição das retas dos espelhos, ramo superior, escala vídeo 1.3/1
 X4 = Posição das retas dos espelhos, ramo inferior, escala vídeo 1.3/1

- YA = Y maior na interseção raios/ cobertura
YD = Posição menor para troca de escala
YE = Pontos medidos dos espelhos
YF = Posição maior para troca de escala
YI = Posição inicial na base dos espelhos
YL = Y para teste distância absorvedor
YN = Posição angular dos espelhos, escala real
YP = Posição Y de partida dos raios
YR = Posição Y dos raios na equação da reta
YT = Y menor na interseção raios/cobertura
YY = Posição para teste de interseção
Y1 = Posição das retas dos espelhos, ramo superior, escala vídeo 1/3.2
Y2 = Posição das retas dos espelhos, ramo inferior, escala vídeo 1/3.2
Y3 = Posição das retas dos espelhos, ramo superior, escala 1.3/1
Y4 = Posição das retas dos espelhos, ramo inferior, escala 1.3/1
Z = Raiz quadrada da equação de Baskara para teste interseção raios/cobertura e absorvedor.

Anexo III - Detalhamento de Engenharia dos equipamentos da máquina de absorção

A seguir serão dados alguns detalhes técnicos dos equipamentos que compõe a máquina de absorção, em referência ao ítem 4.2.

Ref. Sec. 4.2.1 GER/ABS - Gerador/Absorvedor

É um trocador de calor tipo casca e tubo.

A casca mede 500 mm de diâmetro interno e comprimento de 2.560 mm, isolada com poliuretano, espessura 80 mm. Os tubos estão colocados na forma de dois passes, 37 tubos em paralelo no passe superior (primeiro) e 39 tubos no passe inferior (segundo). Os tubos têm diâmetro externo de 19,05 mm (paredes BWG 16) e comprimento 2.500 mm, perfazendo uma área total de troca de calor (externa) de $11,14 \text{ m}^2$.

Ref. Sec. 4.2.2 CLR - Coluna de retificação

Esta coluna mede 152,4 mm de diâmetro e altura de 810 mm, e está cheia de um material formado por tiras finas de aço, semelhante a um "esfregão de aço".

Ref. Sec. 4.2.3 CDR - Condensador de retificação

É um trocador de calor tipo casca e tubo. A casca tem diâmetro interno de 102 mm e comprimento interno de 470 mm. Os tubos tem diâmetro externo de 19,05 mm e comprimento de 470 mm. São em número de três em paralelo no primeiro passe (inferior) e três em paralelo no segundo passe (superior), perfazendo uma área de troca de calor igual à $0,169 \text{ m}^2$.

Ref. Sec. 4.2.6 Amônia

A tubulação de amônia é constituída por tubos ϕ 1/2"

pintados de amarelo. Desde o dispositivo de expansão (DE) até o gerador/absorvedor (GER/ABS) a tubulação é isolada termicamente, com calhas de poliuretano expandido, espessura 100 mm.

Ref. Sec. 4.2.7 CD - Condensador

É um trocador tipo casca e tubo. A casca tem diâmetro externo de 168 mm e comprimento de 1626 mm. Os tubos tem diâmetro externo de 19,05 mm e comprimento 1462 mm em dois passes, 13 tubos em paralelo no primeiro passe (inferior) e 13 tubos em paralelo no segundo passe (superior), numa área de troca de calor igual a $2,27 \text{ m}^2$ (externa).

Ref. Sec. 4.2.8 DL - Depósito de líquido

É do tipo vertical, diâmetro interno 385 mm e comprimento 1300 mm, volume total 166 litros. Na parte externa existe um visor de nível, cuja cota zero corresponde a 7,35 litros, e cada 10 cm de altura do visor corresponde a 11,64 litros.

Ref. Sec. 4.2.9 DE - Dispositivo de expansão

O projeto original previa um dispositivo tipo placa perfurada, diâmetro 1,5 mm. Nos testes iniciais se mostrou insuficiente, pois gerava pouca perda de carga na passagem de amônia. Diminuiu-se então o diâmetro do orifício e aumentou-se os números de placas, tendo-se atualmente duas placas em série, uma com diâmetro 0,5 mm e outra com 1 mm. Em paralelo a de 0,5 mm (em by pass) existe uma válvula de expansão manual $\varnothing 1/4''$ e outra placa de 1 mm.

Ref. Sec. 4.2.10 EVAP - Evaporador

O tanque de salmoura mede 1360 x 400 x 1200 mm, iso-

lado com poliestireno expandido, espessura 60 mm. Dentro do tanque fica a serpentina de expansão da amônia, em tubo \varnothing_e 25,4mm. O projeto original previa 4 circuitos em paralelo, cada um com 16 passes descendentes com 1020 mm de comprimento cada. Novamente os testes iniciais mostraram ser muito 4 circuitos, modificando-se então a serpentina para apenas 1 circuito. A serpentina apresenta área externa de troca de calor igual a $5,2 \text{ m}^2$. Entre os tubos da serpentina, são colocadas as formas de gelo, num total de 12 formas. Cada forma mede (dimensões médias) 234 x 47 x 1000 mm, e tem capacidade para 9 litros de água. Entre a serpentina e as formas fica a salmoura, num total de 416 litros. O ponto eutético da salmoura de Na Cl é com 23% de sal puro em massa de salmoura, ou 270 kg de NaCl por m^3 de salmoura, resultando a densidade da salmoura igual a 1174 kg/m^3 . Esse ponto eutético apresenta temperatura de cristalização igual a $-20,6^\circ\text{C}$ (Ver Tabela III.1, Propriedade da salmoura de cloreto de sódio puro). Para previsão de possível evaporação d'água, o que elevaria rapidamente a temperatura de cristalização, recomenda-se o posicionamento da salmoura para uma temperatura de cristalização entre -15 e -20°C . Isto traz uma densidade da salmoura, a 20°C , entre 1,14/1,17 kg/litro, de fácil aferição.

Ref. Sec. 4.2.11 BO - Bomba de óleo

Os primeiros testes foram feitos com bomba centrífuga, o que, devido a alta viscosidade do óleo, não apresentou bons resultados, ocorrendo flutuações na vazão de óleo. A colocação então de uma bomba de engrenagens apresentou melhores resultados, com vazão mais estável e melhores rendimentos térmicos. A bomba de óleo é comandada por um quadro elétrico, cujos esquemas elétricos aparecem na Figura III.1

Propriedades da Salmoura
Tab. III.1 de Cloreto de Sódio

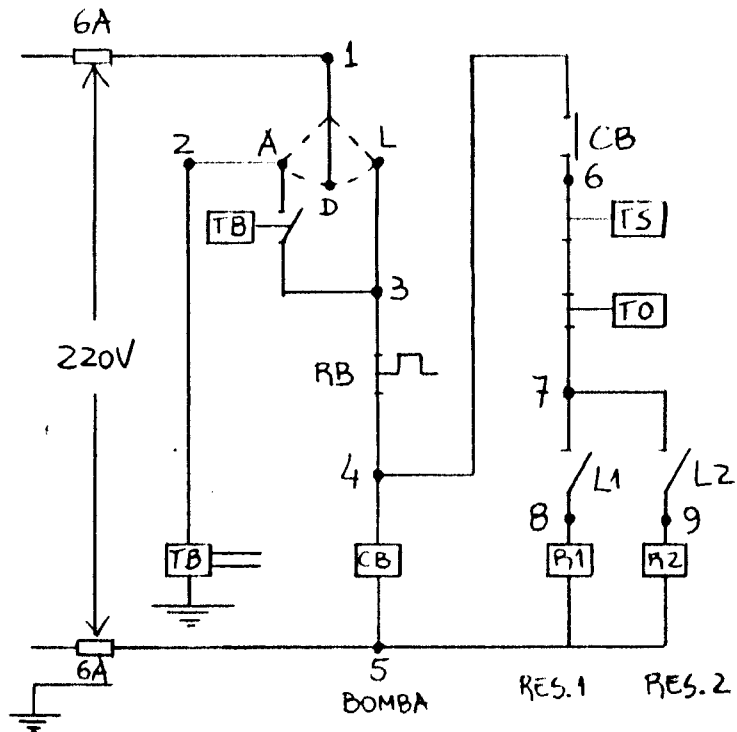
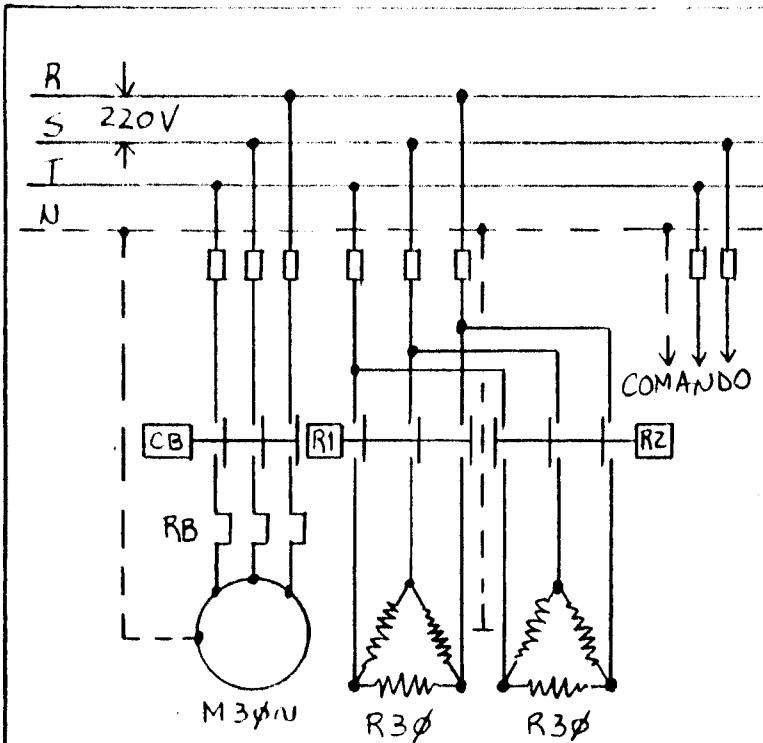
Pure NaCl % by Mass	Specific gravity ^c	Baume density 15.6°C	Specific at 15°C J/kg·K	Crystallization Starts °C	Mass per Unit Volume ^b at 15.6°C		Specific Gravity at Other Temperatures (Refers to water at 15.6°C)			
					kg/m ³ (g/L) NaCl	Brine	-10°C	0°C	10°C	20°C
0	1.000	0.0	4184	0.0	0.0	1000				
5	1.035	5.1	3925	-2.9	51.7	1035	1.0382	1.0366	1.0341	
6	1.043	6.1	3879	-3.6	62.5	1043	1.0459	1.0440	1.0413	
7	1.050	7.0	3836	-4.3	73.4	1049	1.0536	1.0515	1.0486	
8	1.057	8.0	3795	-5.0	84.6	1057	1.0613	1.0590	1.0559	
9	1.065	9.0	3753	-5.8	95.9	1065	1.0691	1.0665	1.0633	
10	1.072	10.1	3715	-6.6	107.2	1072	1.0769	1.0741	1.0707	
11	1.080	10.8	3678	-7.3	118.8	1080	1.0849	1.0817	1.0782	
12	1.087	11.8	3640	-8.2	130.3	1086	1.0925	1.0897	1.0857	
13	1.095	12.7	3607	-9.1	142.2	1094	1.1004	1.0971	1.0933	
14	1.103	13.6	3573	-10.1	154.3	1102	1.1083	1.1048	1.1009	
15	1.111	14.5	3544	-10.9	166.5	1110	1.1195	1.1163	1.1126	1.1086
16	1.118	15.4	3515	-11.9	178.9	1118	1.1277	1.1243	1.1205	1.1163
17	1.126	16.3	3485	-13.0	191.4	1126	1.1359	1.1323	1.1284	1.1241
18	1.134	17.2	3456	-14.1	204.1	1134	1.1442	1.1404	1.1363	1.1319
19	1.142	18.1	3427	-15.3	217.0	1142	1.1535	1.1486	1.1444	1.1398
20	1.150	19.0	3402	-16.5	230.0	1150	1.1608	1.1568	1.1542	1.1478
21	1.158	19.9	3376	-17.8	243.2	1158	1.1692	1.1651	1.1606	1.1559
22	1.166	20.8	3356	-19.1	256.6	1166	1.1777	1.1734	1.1688	1.1640
23	1.175	21.7	3330	-20.6	270.0	1174	1.1862	1.1818	1.1771	1.1721
24	1.183	22.5	3310	-15.7	283.7	1182	1.1948	1.1902	1.1854	1.1804
25	1.191	23.4	3289	- 8.8	297.5	1190				
25.2	1.200			0.0						

^aMass of commercial NaCl required = (mass of pure NaCl required)/(% purity).

^bMass of water per unit volume = Brine mass minus NaCl mass.

^cSpecific gravity is solution at 15°C referred to water at 4°C.

FIG. III.1 - QUADRO ELÉTRICO P/ COMANDO DE MOTO - BOMBA ÓLEO - ÁGUA E 2 ESTÁGIOS DE AQUECIMENTO POR RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS.



ELEMENTO	BOMBA	RESIST. 1	RESIST. 2	COMANDO
POTENCIA	2 CV	6 KW	6 KW	-
AMPERAG.	8 A	32 A	16 A	-
BASE/TAMPA	25 A	63 A	-	25 A
FUS./P.AJ.	16 A	50 A	-	6 A
CONTAT.	9 A	16 A	16 A	-
RELÉ	6,3-10 A	-	-	-
FIO	14	8	8	16

DESCRIÇÃO:

ADL = CHAVE AUTOM. - DESL. - LIGA

= CONTATO TERMOSTATO BOMBA

RB = RELÉ BOMBA

= CONTATORA BOMBA

= CONTATO "NA" CONTATORA BOMBA

TS = TERMOSTATO SEGURANÇA

TO = TERMOSTATO OPERAÇÃO

= TERMOSTATO BOMBA (DIFERENCIAL)

L1 = CHAVE RESIST. 1

L2 = CHAVE RESIST. 2

R1 = CONTATORA RESIST. 1

R2 = CONTATORA RESIST. 2

Ref. Sec. 4.2.14 AO - Aquecedor de óleo

O aquecedor tem diâmetro interno de 250 mm e comprimento interno de 1100 mm, com volume total de 54 litros. É isolado com lã de vidro 25,4 mm. Superiormente foi acrescentado um vaso de expansão auxiliar. As resistências auxiliares de aquecimento têm potências equivalente a previsão final de duas estufas, com área total de captação solar igual a 40 m^2 . Foram então instaladas duas resistências de 6 KW cada, ligadas conforme esquemas elétricos constantes da Figura III.1 e comandadas por termostatos, que em fase de destilação elétrica deverão ser regulados em torno de 30°C acima da temperatura, t_3 , Figura 4.2.

Ref. Sec. 4.2.15 RO - Resfriador de óleo

É um trocador tipo casca e tubo. A casca tem diâmetro interno de 202 mm, e comprimento de 1462 mm, apresentando chicanas na passagem do óleo. Os tubos tem diâmetro externo 19,05mm, e comprimento 1462 mm, em número de 24 no primeiro passe (inferiores) e 24 no segundo passe (superior), perfazendo uma área total externa de troca de calor igual a $4,2 \text{ m}^2$.

Ref. Sec. 4.2.16 - Óleo

Representa a tubulação de óleo, feita em tubos de aço diâmetro uma polegada, pintados em cor marron.

Ref. Sec. 4.2.17 TOR - Torres de resfriamento

É uma torre atmosférica com bacia metálica e estrutura em madeira, com enchimento também em madeira. A água quente é introduzida na parte superior através de esguichos, e o ar tem circulação natural.

Ref. Sec. 4.2.18 BA - Bomba de água

É do tipo centrífugo mono-bloco. O projeto original prevê a utilização de painéis foto-voltaicos para sua movimentação, mas atualmente está conectada à rede.

Ref. Sec. 4.2.20 Água

Representa as canalizações de água, diâmetro meia polegada, pintadas na cor verde.

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figuras	Pág.
1.1	Presença do Frio na Conservação dos Alimentos ... 14
1.2	Produção e Conservação de Frio 19
1.3	Ciclo de Carnot para uma Máquina Térmica 20
1.4	Ciclo de Carnot Reverso para uma Máquina de Refrigeração 21
1.5	Ciclo de Refrigeração por Compressão e Equipamentos 23
1.6	Sistema Básico de Refrigeração por Absorção 25
1.7	Aplicações dos Ciclos de Carnot em uma Máquina de Absorção 26
1.8	Refrigeração de Alimentos com Energia Solar 28
2.1	Montagem de um Coletor Cilindro Parabólico Composto (CPC) Truncado 33
3.1	Fluxograma do Programa SimCol 40
3.2	Posicionamento Inicial dos Espelhos 43
3.3	Medição dos Pontos dos Espelhos 45
3.4	Medição dos Espelhos (Alternativa) 46
3.5	Simulação de Coletores: Vídeo Geral e Detalhe ... 49
3.6	Posição 7/422 51
3.7	Posição 5/420 58
4.1	Evolução P-h da Amônia no Ciclo de Refrigeração por Absorção 60
4.2	Evolução t-C da Solução Água-Amônia no Ciclo de Refrigeração por Absorção 63
4.3	Diagrama Pressão-Entalpia do Refrigerante 717 ... 65
4.4	Diagrama Temperatura-Concentração da Solução Água-Amônia 66
4.5	Diagrama de Equipamentos para Refrigeração Solar 72
4.6	Etapas do Sistema e Evolução das Principais Propriedades 78
5.1	Evolução do Fator de Interceptação versus Ângulo de Incidência 96
5.2	Coletor CPC com Absorvedor Circular, Cobertura em Vidro e Isolamento Térmico 96
I.1	Desenho CP 01 123
I.2	Desenho CP 02 131
I.3	Desenho CP 03 139
I.4	Desenho CP 04 145

II.1	Cálculo do Ângulo dos Espelhos	157
II.2	Cálculo da Posição dos Espelhos após Rotação de um Ângulo	159
II.3	Mudança de Escala entre Gráficos	161
II.4	Cálculo de B e A sabendo-se 2 Pontos	164
II.5	Interseção Raio/Cobertura ou Absorvedor	166
II.6	Interseção de Retas	168
II.7	Reflexão de um Raio por um Espelho	171
II.8	Ângulo entre Raio e Circunferência	176
II.9	Cálculo da Distância entre Dois Pontos	183
III.1	Quadro Elétrico para Comando de Moto-Bomba Óleo-Água e Dois Estágios de Aquecimento por Resistências Elétricas	197

Tabelas	Pág.	
3.1	Resultados da Simulação de Coletor com Posição Inicial 7 e Abertura 422	50
3.2	Resultados da Simulação do Coletor para Várias Posições Iniciais e Várias Aberturas - Produto γL	55
3.3	Resultados da Simulação de Coletor com Posição Inicial 5 e Abertura 420	57
4.1	Volume Específico da Solução Água-Amônia Saturada	81
4.2	Propriedades do Refrigerante 717 (Amônia)	85
III.1	Propriedades da Salmoura de Cloreto de Sódio	196

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
BIBLIOTECA