

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Alternativas de Cogeração para a Escola Politécnica

Emir Hiroyuki Nakagawa

Coordenador: Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto

Orientador: Prof. Dr. Sílvio de Oliveira Jr

**São Paulo
2003**

13



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Alternativas de Cogeração para a Escola Politécnica

**Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção do
título de Graduação em Engenharia**

Emir Hiroyuki Nakagawa

Coordenador: Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto

Orientador: Prof. Dr. Sílvio de Oliveira Jr

São Paulo

2003

"A lua num riacho frio como um espelho"

Miyamoto Musashi

Agradecimentos

Os seguintes abaixo ajudaram de uma forma ou outra para a realização deste trabalho e lhes sou eternamente grato:

Engº Enaége (PCO) - Eng Leonardo Favato (GePEA - Pure) – Engº José Eduardo do Valle – Engº Campos, pai do Felipe – Engº Michel Boczko - Figener Engenheiros Associados SA - Poli Jr – Centro Acadêmico Mecânica - Prof Dr. Arlindo Tribess – Prof Dr. Antônio Mariani – Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto – Prof. Dr. Silvio de Oliveira Jr

... e, claro, para a Escola Politécnica da USP e seus peculiares politrecos que nela habitam...

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OS PRÉDIOS DA ESCOLA POLITÉCNICA	2
3	DEMANDA ELÉTRICA.....	4
4	LEVANTAMENTO DA CARGA TÉRMICA.....	7
5	MEMORIAL DE CÁLCULO – CARGA TÉRMICA	10
6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS	14
7	ALTERNATIVAS DE COGERAÇÃO PARA A EPUSP	17
8	CONFIGURAÇÃO DOS CHILLERS	19
9	BALANÇO DE MASSA E ENERGIA.....	25
10	LOCALIZAÇÃO DA PLANTA	26
11	ANÁLISE ECONÔMICA.....	27
12	CONCLUSÕES.....	31
13	BIBLIOGRAFIA	32
14	ANEXOS	33

1 Introdução

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) é a segunda maior unidade da USP. Possui 4000 alunos de graduação, 3000 alunos de pós-graduação, 500 funcionários e 500 docentes e 7000 alunos de educação continuada que diariamente circulam em seus diversos prédios, situados no chamado “quartirão tecnológico” (com a exceção do Departamento de Engenharia Química, localizado junto ao “conjunto das Químicas”) da Cidade Universitária Armando Sales de Oliveira (CUASO).

O presente projeto visa apresentar alternativas de configuração de central de utilidades (isto é, central de cogeração) a ser instalada na EPUSP, com o objetivo principal de:

- Fornecer energia elétrica para suprir a demanda exigida por cada prédio da Escola;
- Fornecer ar condicionado (água gelada) suficiente para garantir o conforto térmico exigido pelas pessoas ocupantes das salas da EPUSP.

Após o oferecimento da gama de possibilidades, algumas configurações chaves foram escolhidas e consideradas em um estudo técnico econômico.

Este projeto foi efetuado durante o ano letivo de 2003, em que a etapa correspondente ao primeiro semestre consistia no levantamento dos perfis de consumo de energia elétrica e estimativa da carga térmica dos prédios da EPUSP. A partir dos dados obtidos, configurou-se a planta (do ponto de vista técnico) e finalmente efetuou-se um estudo econômico visando uma estimativa de tempo de retorno do investimento. Infelizmente, como era esperado, o tempo de retorno, acima de cinco anos, não é adequado para que o projeto seja implantado. Apesar disso, o trabalho possui valor como referência para futuros trabalhos na EPUSP por apresentar uma estimativa de valores nunca antes mensurados.

2 Os Prédios da Escola Politécnica

Abaixo, uma descrição do conjunto de edificações que o estudo denomina por EPUSP:

- **Administração:** abriga a diretoria da Escola Politécnica, diversas secretarias administrativas, seção de alunos, biblioteca central, auditório, seção de estágios, licitações, departamento jurídico, etc. Responsável pelo bom funcionamento das atividades nos outros prédios.
- **Hidráulica (CTH):** laboratórios de ensaios na área hidráulica. Existem também algumas salas administrativas.
- **Biênio:** este prédio possui principalmente salas de aula, utilizadas para o ensino das disciplinas básicas comuns a todas as habilitações de engenharia nos primeiros dois anos. Também são utilizadas para cursos noturnos de extensão universitária e de línguas. Além das salas de aula, possui dois anfiteatros, uma pequena área administrativa, sede do Grêmio Politécnico e da Associação Atlética, sala de informática e uma área de lazer (vivência) para os alunos.
- **Civil:** possui salas de aula, auditórios, biblioteca, Centro Acadêmico, restaurante, centros de pesquisa e salas de professores de diversos departamentos vinculados à Engenharia Civil (PCC, PEF, PTR, PHD). O Centro Técnico de Construção Civil (**CTCC**), estará anexado a este conjunto.
- **Elétrica:** o conjunto denominado compreende-se por cinco blocos (A, B, C, D e E), onde estão situadas salas de aula, biblioteca, salas de informática, centros de pesquisa, laboratórios técnicos, salas de professores e secretarias de departamentos vinculados ao ensino e pesquisa na área de Engenharia Elétrica (PEA, PCS, PSI, PTC), auditório e Centro Acadêmico.

- **Mecânica/Naval:** possui três departamentos (PME, PMR e PNV) que se responsabilizam pelo ensino, pesquisa e extensão na área de Engenharia Mecânica e Engenharia Naval. Como os outros prédios, é composto por salas de aula, biblioteca, laboratórios, anfiteatro, lanchonete e Centros Acadêmicos.

- **Minas:** Prédio com salas de aula, laboratórios, salas de professores do departamento PMI, que realiza pesquisa na área de Engenharia de Minas e de Petróleo. Suas salas de aula são utilizadas também para cursos de extensão universitária.

- **Metalurgia:** Prédio com salas de aula, laboratórios, salas de professores do departamento PMT, que realiza pesquisas na área de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

- **Produção:** conjunto de prédios que se dividem em salas de aula, salas de professores, biblioteca, salas de informática, secretarias do PRO e Fundação Vanzolini, Centro Acadêmico, restaurante, etc.

A descrição acima tem como objetivo dar noção de cada conjunto a ser estudado e não é uma descrição completa de todas as atividades realizadas nem de todos os setores dos prédios. Por razões estritamente físicas, infelizmente a Poli-Química não será beneficiada com a central de cogeração, dado a distância desta unidade do restante do conjunto Politécnico.

3 Demanda Elétrica

Em cada conjunto estudado, foram levantados os perfis de consumo de energia elétrica devido à iluminação, microcomputadores, impressoras, máquinas operatrizes, instrumentos de laboratórios, e qualquer outro instrumento elétrico/eletrônico utilizado. Os dados foram obtidos por duas fontes distintas: pela prefeitura da Cidade Universitária (PCO) e pelo grupo GePEA (do departamento PEA – EPUSP e ligado ao programa Pure – USP de racionamento de energia). Isto aconteceu porque os dados da prefeitura eram desatualizados, enquanto que os do GePEA ainda estavam em fase de levantamento para um futuro programa de racionamento de energia. Deste modo, foi possível obter perfis de consumo de energia elétrica do mês de março (mês de projeto) para os prédios da Engenharia Elétrica e da Metalurgia. Infelizmente, foi impossível esperar (por motivos de prazos da disciplina) pelos dados dos outros prédios da POLI.

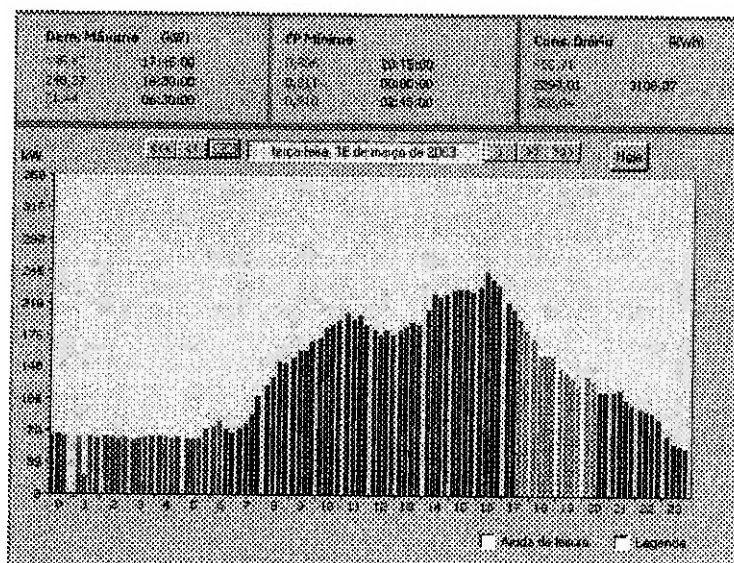


Figura 3.1 - exemplo de perfil de consumo GePEA

Com a ajuda do engenheiro Leonardo (GePEA), conclui-se que os perfis das curvas de consumo em grande maioria dos prédios da USP era muito semelhante, de modo que bastava obter algum valor de pico de consumo por prédio e “corrigir” as curvas originais. Estes valores de pico foram obtidos com o Engenheiro. Enéa, da

Prefeitura da CUASO. Apesar destes dados fornecidos se encontrarem desatualizados, foi possível estimar o valor atual de pico comparando-se os valores atuais com os fornecidos pela PCO. Deste modo, obtém-se:

Valor Máximo de consumo: 2700kW às 15h

Valor Mínimo de consumo: 755kW às 01h

	demanda máxima (kW)
minas/metal	250
elétrica	600
civil	450
administração	150
mecânica/naval	300
hidráulica	580
biênio	120

figura 3.2 -picos de demanda das unidades

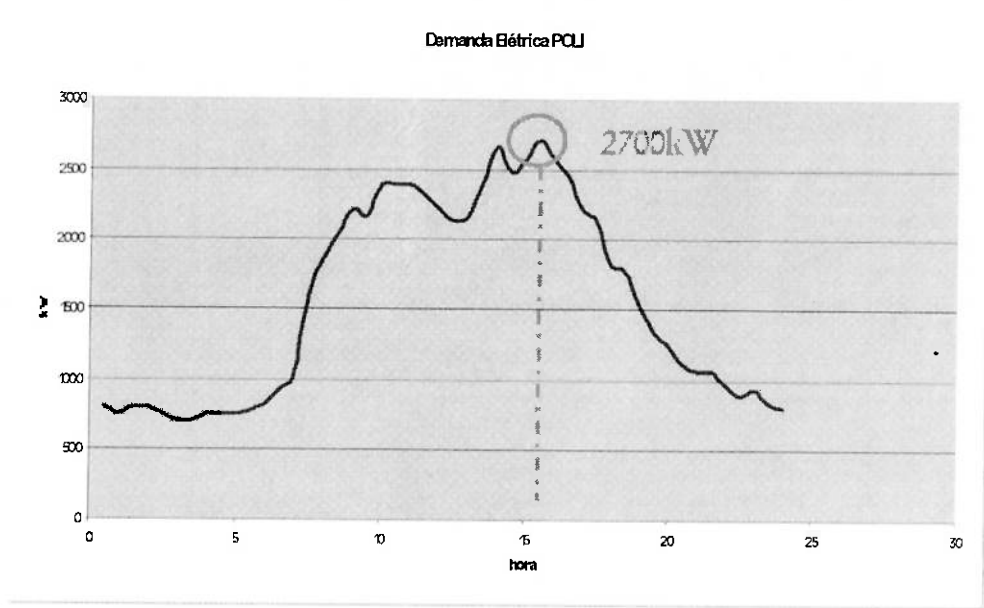


figura 3.3 – perfil de consumo total da POLI

Uma pequena observação deve ser feita sobre a distribuição destes perfis durante os dias da semana: o perfil de consumo não apresenta variações significativas de segunda a quinta-feira, mas nota-se uma queda de consumo a partir da tarde de sexta-feira, totalmente justificável pelo fim de semana. Esta discrepância, *a priori*, não será levada em conta no projeto.

Ao final do trabalho (novembro/2003), entrou-se em contato mais uma vez com o GePEA para obtenção de outros dados para a análise econômica. Nesta ocasião, foi possível comparar os valores de consumo estimados para o prédio Mecânica / Naval pelo método descrito acima com o medidor recém instalado no prédio. Notou-se pequena discrepância (de ordem de 5%) entre os dois valores, totalmente aceitável dentro do escopo do projeto.

4 Levantamento da Carga Térmica

Todo calor produzido pela central de cogeração será exclusivamente utilizado para a geração de ar condicionado que deverá atender as demandas de cada conjunto. Para cada prédio da EPUSP, foram obtidas plantas (gentilmente fornecidas pela Poli Jr.), de onde as medidas físicas puderam ser obtidas. Algumas visitas aos prédios foram necessárias para o levantamento dos materiais de parede, ocupação média das salas, área de janela, possíveis fontes de calor instaladas, etc. O levantamento da carga térmica para cada conjunto está sendo baseado nas seguintes hipóteses:

- **Ocupação / Utilização Média:** A grande maioria dos conjuntos analisados possui salas onde são ministradas aulas. Sabe-se que a distribuição destas aulas pelas salas varia durante os semestres e também durante a semana. Assim, definiu-se, juntamente com o professor orientador, que a ocupação das salas de aula, para parâmetros de projeto, será aquela onde a maior parte estará ocupada, ou seja, fazendo-se a intersecção de todas as ocupações das salas de aula, utilizar-se-á aquela do dia da semana e horário onde a maior parte das salas estiver sendo ocupada. Para que este valor não seja demasiadamente superdimensionado, deve-se fazer uma comparação com os outros horários. Se esta ocupação for muito diferente, torna-se necessário considerar uma média. Para outros tipos de ocupações (escritórios, laboratórios, etc), foi levantada uma ocupação média de pessoas por período (manhã, tarde e noite). Para setores onde a ocupação não puder ser medida, será estimada uma ocupação média por metro quadrado de sala baseada na experiência dos frequentadores desta. Esta estimativa, apesar de parecer trabalhosa a princípio, é muito facilitada pelo fato de ser a EPUSP a unidade estudada, uma vez que o autor, seus colegas e professores vivem o cotidiano da Escola. O problema de se atender ou não o pico de consumo poderá ser estudado mais adiante (na segunda parte do projeto), utilizando-se, por exemplo, acumuladores de vapor.

água gelada.

- **Método de Cálculo:** para o cálculo da carga térmica, estão sendo utilizados os programas de PC “Softload” em conjunto com o MS-Excel. O Softload é um programa de cálculo de carga térmica desenvolvido na EPUSP sob orientação do Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto (PME), baseado no método CLTD/CLF da ASHRAE. A saída deste programa é uma planilha do MS-Excel e, dependendo do prédio, deverá ser corrigida.

- **Hipótese das Zonas:** uma vez que o escopo do trabalho não é o projeto do sistema de condicionamento em si, e sim obter uma estimativa da carga térmica, não está sendo calculada a carga térmica sala-a-sala, mas em conjuntos onde os usos são comuns. Por exemplo, num corredor de salas de aula, serão ignoradas as paredes que as separam, considerando-se uma enorme sala de aula. Esta aproximação pode ser efetuada, pois o valor de pico e a distribuição de carga térmica no prédio inteiro sofrerão poucas alterações. Este método é o recomendado pelo manual do Energy-Plus quando se está somente interessado na carga total. O cálculo minucioso para todas as salas seria demasiadamente demorado e trabalhoso, necessitando mais pessoas envolvidas no projeto.

- **Isolamento/ Iluminação:** apesar de não corresponder ao real, no cálculo da carga térmica assumiu-se que as zonas de climatização estão razoavelmente isoladas (ou seja, o mínimo de cuidado com relação a minimização de perdas foi tomado) e com iluminação adequada, de modo a minimizar perdas para o ambiente. Esta hipótese se justifica porque, se em algum dia um sistema de condicionamento for instalado, estas reformas serão necessárias.

- **Incidência Solar / Mês de Projeto para a USP:** uma vez que a CUASO é arborizada (atípica de um centro urbano), para os parâmetros que envolvem a localização, usou-se um valor médio entre zona rural e urbana.

Como o dimensionamento da Central deve suprir toda a carga térmica, será considerado o perfil de temperaturas do verão, com a ressalva de que o mês de projeto será **março**, por causa do início das aulas neste mês.

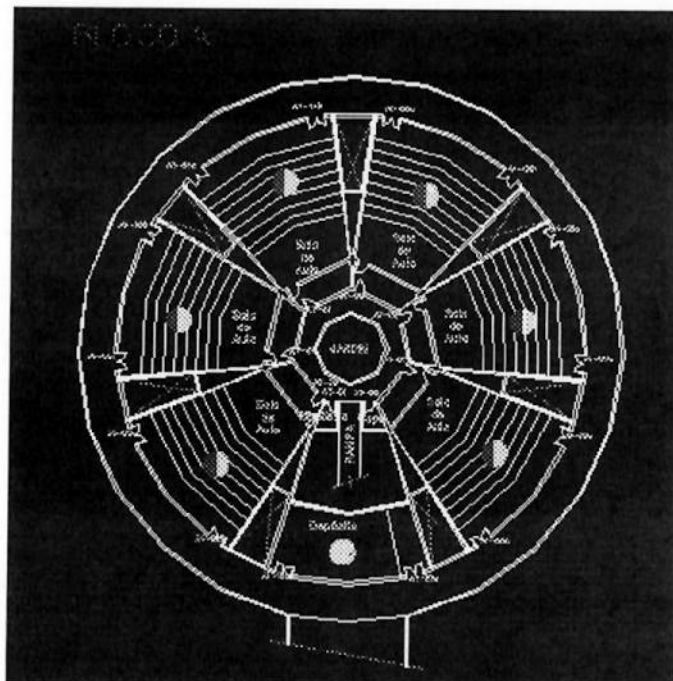


Figura 4.1- Exemplo de Planta Utilizada: "Cirquinho"

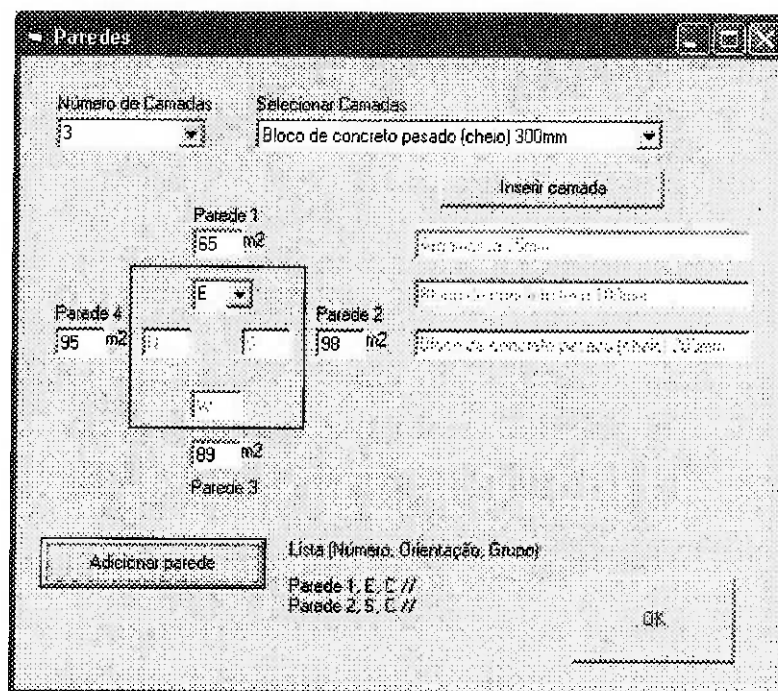


Figura 4.2- Tela do Programa Softload

5 Memorial de cálculo – carga térmica

Apresenta-se um resumo do memorial de cálculo, com objetivo de mostrar o direcionamento utilizado para colocar os dados no programa Softload, além de observações gerais. Não foi viável anexar todos os dados utilizados para cada zona, por motivos de espaço. Não obstante, todas as zonas possuem um memorial de cálculo em forma de planilha Excel (e também na saída do programa Softload), em posse do autor, caso necessário. As cargas calculadas para cada prédio se encontram anexadas no final do trabalho, assim como os perfis de cada zona dentro dos respectivos prédios.

- **Dados Iniciais:** temperatura interna de 24 °C e externa de 30 °C, correspondente ao mês de março. O ajuste de cor é rural por motivos antes explicados.
- **Paredes:** Deve-se sempre lembrar de descontar a área de janela em cada parede. Algumas visitas aos prédios possibilitam obter informações de camadas e espessuras. Uma correção foi necessária para zonas onde não há incidência direta dos raios solares, pois o programa irá superdimensionar a carga de parede se estas forem consideradas. Deve-se, então, inserir “motores equivalentes” baseados nas leis de transferência de calor. Por exemplo, para o corredor da área mecatrônica do prédio de Engenharia Mecânica (corredor da sala do Professor Horikawa), onde as paredes divisórias são feitas de material compensado de madeira, o motor equivalente seria calculado como a seguir, dado a hipótese de que 6° C de diferença entre o interior e exterior torna a convecção natural desprezível. Assim, o processo de transferência é somente de condução unidimensional. A quantidade de calor Q em função da área de parede A será dada então pela equação:

$$Q = kA \frac{dT}{dL}$$

Onde:

K do compensado madeira é **0,12 W/mK**

A espessura **L** é de **5cm**

T_{int}=24 e **T_{ext}=30**

Q= 14.4xA W

Ou

Q= 0,0193104xA HP (para inserir no SoftLoad)

Onde **A** é a área em m².

- **Teto:** Usa-se latitude 24° de São Paulo, Hemisfério Sul e mês de Março. Os outros dados são função do prédio em análise. Deve-se atentar para usar área de teto nula em salas com andares superiores.
- **Janelas:** Os dados variam de sala para sala. Em determinados lugares, admitiu-se cortinas ou filmes reflexivos que não existem na configuração atual, mas que seriam necessárias em uma eventual instalação de ar condicionado.
- **Ocupação:** O período de ocupação para salas de aula ou laboratórios didáticos é determinado utilizando-se o critério acima explicado. Ambientes de escritório possuem ocupação de oito horas, com entrada às 8h. O grau de atividade é de trabalho leve / sentado.
- **Iluminação:** assume-se uma iluminação ideal para ambientes de escritório ou salas de aula, que corresponde à luminescência em torno de 400 ~ 500 lux, tentando-se otimizar a carga de iluminação para números inferiores a 15 W/m². Assim, para dada área de teto, utilizou-se (em função de cada zona) uma densidade de 0,4 ~0,3 lâmpadas por metro quadrado. Uma observação deve ser feita sobre o programa Softload, que apresenta erro quando se colocam mais de 1024 lâmpadas. Neste caso, assume-se que a carga térmica

de iluminação varia linearmente com o número de lâmpadas. Calcula-se então a carga com 100 lâmpadas (por exemplo) e corrige-se na planilha de saída para o número desejado. Os outros dados devem ser estimados para cada zona em particular.

- **Motores Elétricos:** Além dos “motores equivalentes” para correção da condução pelas paredes, deve-se utilizar bom senso para determinar se salas com motores de alta potência devem ou não ser condicionados. Assim, determinados laboratórios que precisam de temperaturas normalizadas para medições serão considerados condicionados independentemente das potências utilizadas ou geradas, mas oficinas com Tornos, Fresas e outras máquinas operatrizes não serão.
- **Aparelhos/Eletrrodomésticos:** Considerou-se, em linhas gerais, que cada professor da Poli possui um PC com impressora e fax e cada secretaria de departamento possui uma máquina copiadora. Zonas inacessíveis foram estudadas caso a caso, mas em sua maioria foram utilizadas distribuições parecidas com escritórios. Outros parâmetros são função de cada zona.

Finalmente, calcula-se a *distribuição da carga térmica para a EPUSP:*

Valor Máximo: 4000kW (1160TR) às 16h

Valor Mínimo: 990kW (281TR) às 05h

Deve-se registrar que as cargas térmicas do CTH, bloco E e CTCC não foram acrescentadas por apresentarem relativo afastamento físico e em função da baixa carga térmica, inviabilizando a instalação de ar condicionado central, bastando para estes somente alguns aparelhos de janela.

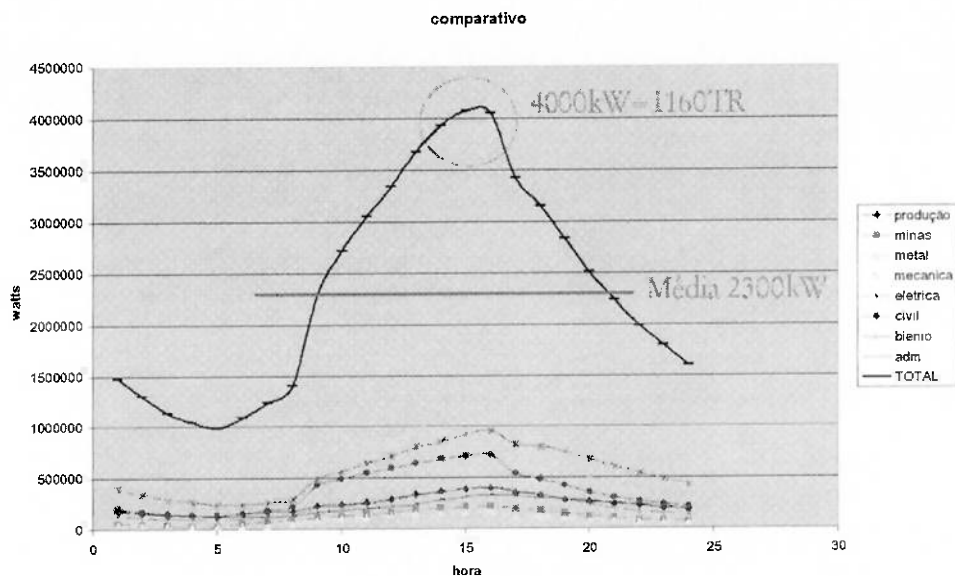


figura 5.1 – carga térmica da EPUSP

Nota-se que as maiores demandas são para os prédios de Engenharia Civil, Elétrica e Mecânica, em função do tamanho físico e perfil de ocupação. O Biênio, apesar de uma grande ocupação, não apresenta aparelhos elétricos (com exceção de micro-computadores), laboratórios ou salas de professores. Além disso, a área relativa de teto, por ser um prédio de quatro andares, é reduzida, justificando, assim, a menor carga térmica em relação aos outros prédios de grande ocupação.

O gráfico de perfil de carga térmica de cada prédio está anexado ao final do trabalho, assim como as cargas das zonas dentro de cada unidade.

6 Análise de Sensibilidade dos Resultados

Durante a apresentação dos resultados obtidos no 1º Semestre, foi sugerido pelo Prof. Dr. Mariani que se realizasse uma análise de sensibilidade do programa SOFTLOAD (e do método usado para o cálculo de carga térmica) sob as considerações (hipóteses) admitidas para o levantamento da carga térmica.

Esta análise mostra-se importante para averiguar se os valores que serão utilizados no projeto básico da central de cogeração são próximos do real ou se as hipóteses de iluminação ideal, forro e sombreamento, dentre outros, acabaram por afetar a realidade dos valores.

Uma vez que o objeto de estudo não é o prédio da Poli em si, mas a metodologia utilizada para o cálculo da carga térmica, resolveu-se estimar a carga térmica de uma sala “padrão” hipotética (a saber: dimensões de 30 X 50m, 3,5 m de altura, janelas em três das quatro paredes e sol incidente também em três paredes). Deste modo, obteve-se uma sala “controle”, mais simples que um prédio da Escola, mas cujos resultados possam ter validade também para sistemas maiores.

Criou-se, então, dois casos:

-caso otimista: temperatura interna de 24°C, tetos com forro e isolamento, janelas com alto grau de sombreamento, distribuição mínima de lâmpadas, menor período de ocupação e de aparelhos eletrônicos distribuídos. Ou seja, tudo que fosse possível dentro do bom senso para diminuir a carga térmica.

-caso pessimista: se o caso otimista tinha como objetivo diminuir a carga térmica, o pessimista utiliza uma diferença de temperatura interna – externa maior ($T_{int} = 22^{\circ}\text{C}$), tetos sem forro e isolamento, janelas sem nenhum tipo de sombreamento, distribuição maior de lâmpadas (com rendimento menor), maior período de ocupação e de aparelhos eletrônicos distribuídos. Deste modo, a sala no caso pessimista apresentava maior carga térmica.

Estes dois casos foram calculados no programa SOFTLOAD, apresentando os gráficos com os perfis de carga abaixo:

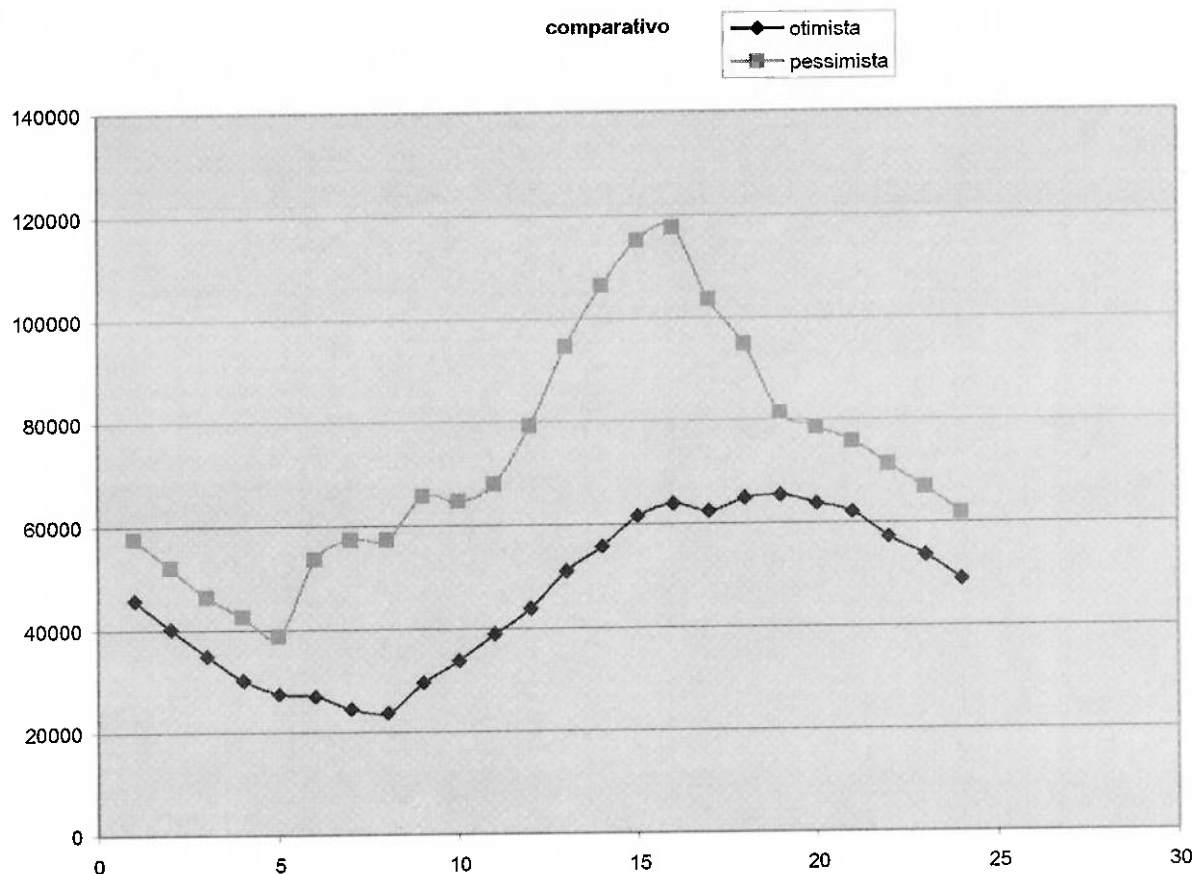


figura 6.1 – análise de sensibilidade

A primeira análise causa surpresa, principalmente na região de pico, apresentando uma variação em quase 100% do valor no caso pessimista. Averiguando nos memoriais de cálculo do SOFTLOAD, pôde-se analisar que, enquanto a diferença entre as cargas térmicas da maioria dos itens era em torno de 15%, a carga térmica devido às janelas no caso pessimista chegava a aumentar 300% no pico.

Deste modo, apesar das contribuições em menor parcela dos outros fatores, foi possível concluir que a maior sensibilidade do método se encontra na carga térmica de janela. Levando-se em conta que o caso otimista usava janelas nas melhores “condições possíveis para diminuição de carga térmica” em contrapartida ao pessimista, que continha somente janelas sem sombreamento/ venezianas, um retorno aos prédios “físicos” foi necessário para análise das condições reais, lembrando que a condição de projeto assumia condições satisfatórias de sombreamento e venezianas. Felizmente, grande maioria das

janelas que eram sujeitas à exposição direta do sol possuía algum tipo de proteção interna, em sua maioria cortinas ou venezianas.

Deste modo, pôde-se concluir que, apesar da grande sensibilidade do SOFTLOAD à carga de janela, os resultados obtidos de carga térmica para a Escola Politécnica estão suficientemente próximos do real para uma análise preliminar, escopo deste projeto.

7 Alternativas de Cogeração para a EPUSP

Uma vez determinadas as condições de consumo elétrico e térmico da EPUSP, apresentam-se alternativas para uma central de utilidades para suprir às demandas.

A central básica de utilidades é composta pelos seguintes itens:

- **Máquina Térmica:** responsável pela conversão da energia química armazenada no combustível para outras duas formas: trabalho e calor. Esta definição é pertinente para este projeto, uma vez que o objetivo de um ciclo de cogeração é obter simultaneamente calor e trabalho, ou seja, o calor, neste caso, não é um rejeito indesejável do processo. As máquinas térmicas analisadas neste projeto são Turbinas à Gás e Motores de Combustão Interna (ignição por faísca). O combustível será o gás natural cuja composição química é aquela fornecida pela Comgás (PCI de 8380 kcal/Nm³).
- **Caldeira de Recuperação:** o grupo gerador ("máquina térmica") produz trabalho de eixo, mas a água gelada para o sistema de condicionamento de ar deve ser produzida por um chiller de absorção, que opera usando água quente ou vapor. Para obtenção destes, utiliza-se uma caldeira de recuperação, que nada mais é que um trocador de calor que aquece a água a partir dos gases de escape do motor. Em algumas configurações, é possível usar a água da camisa do motor de combustão interna como fonte de energia ou até mesmo como fluido aquecido na caldeira. Para a presente análise, será considerado que os gases de escape que saem da caldeira apresentam temperatura levemente acima (30°C) da temperatura de saturação da água à pressão de fornecimento ao Chiller (no caso, 8kgf/cm²g – 175 °C). Este valor é importante para o balanço de massa e energia a seguir.
- **Chiller de Absorção:** utilizando a alta temperatura do vapor produzido na caldeira de recuperação, água gelada é produzida no evaporador. Serão

considerados três modelos de Chillers: de simples efeito e de duplo efeito, ambos operando com vapor d'água, e mais um que utiliza água quente.

- **Torre de Resfriamento:** a torre de resfriamento é responsável pelo arrefecimento do Chiller, eliminando o calor do absorvedor e do condensador. Neste projeto, entra somente no balanço de energia do sistema, tendo futuramente um valor por quiloWatt rejeitado associado para a análise econômica.
- **Acumuladores de Água Gelada:** reservatórios destinados ao armazenamento da água gelada produzida no Chiller. Os sistemas de Termoacumulação são importantes para redução no consumo ou diminuir a flutuação de carga para o grupo gerador e o Chiller. Deste modo, é possível trabalhar continuamente durante a madrugada, por exemplo, acumulando-se energia térmica para uso no horário de pico. Normalmente fabricados de concreto, estes tanques serão considerados em somente duas das quatro alternativas de configuração dos Chillers, dado o caráter acadêmico do projeto de comparação de alternativas.

Apesar de uma planta de utilidades ainda incluir outros componentes, como bombas, ventiladores, fan-coil, isolamento, válvulas e outros aparelhos de importância, considerou-se que estes entrariam na análise econômica das soluções como uma percentagem sobre o valor total da Planta, uma vez que os equipamentos mais onerosos são os descritos acima.

8 Configuração dos Chillers

Para a análise termodinâmica dos Chillers, utilizou-se a carga térmica da Poli corrigida nos seguintes aspectos: o programa calculou a quantidade de energia necessária para manter a temperatura nas salas constante e igual à de projeto (24°C). Isto não significa que o sistema de ar condicionado deve trabalhar em horários quando não existem pessoas, por exemplo, às 3h da manhã. Deste modo, corrigiu-se a carga térmica da Poli para que o sistema operasse de seis a vinte e três horas. Eventuais salas que devem permanecer refrigeradas 24h por dia foram consideradas desprezíveis em relação ao todo. Assim, a carga corrigida será:

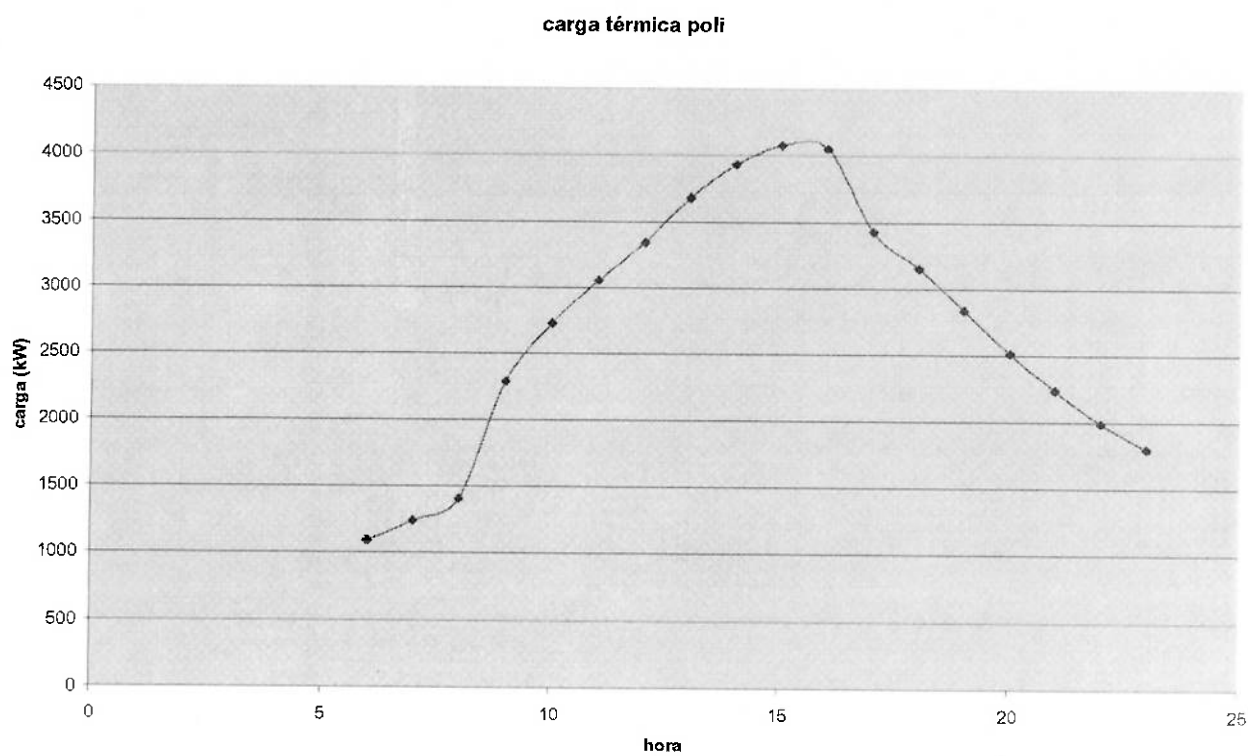
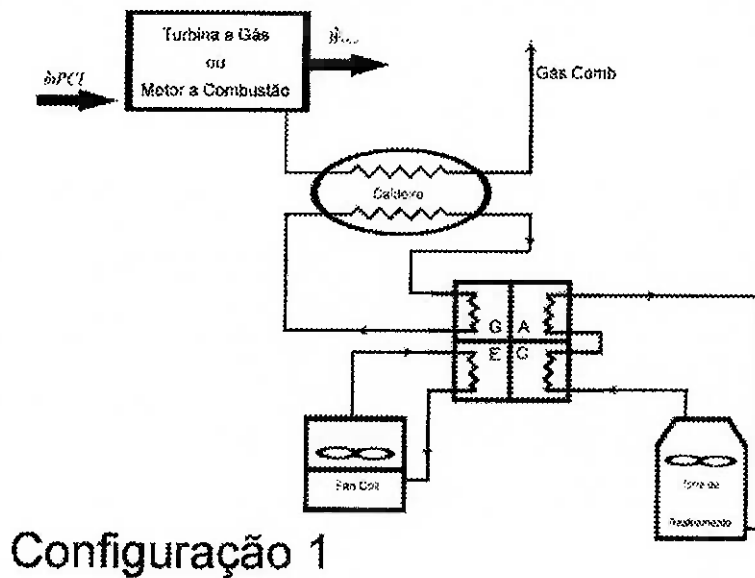


figura 8.1 – carga térmica da EPUSP corrigida

De posse deste novo perfil, foram estudados quatro configurações, a saber:

- a. **Configuração 1:** Chiller operando de 6h às 23h, com capacidade nominal máxima de 4000kW (1140TR). É a configuração padrão, menos sofisticada possível:



Caso 1

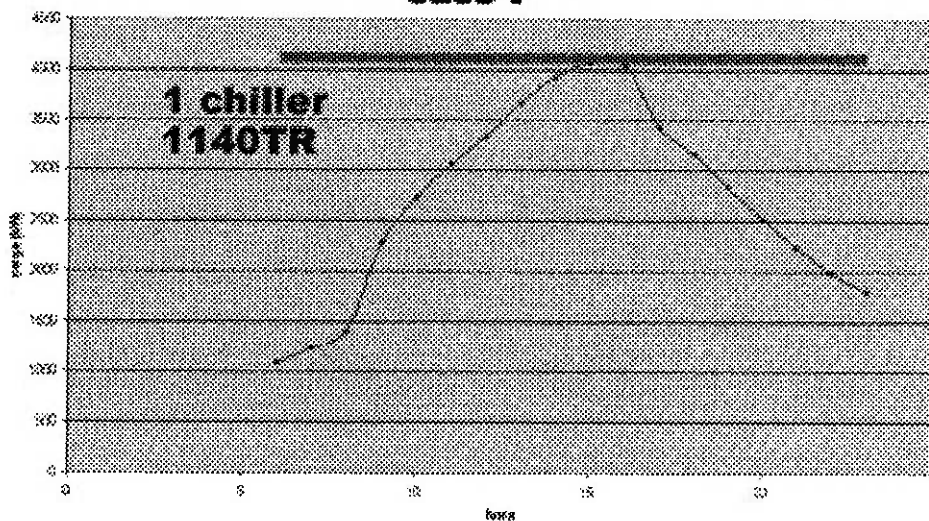
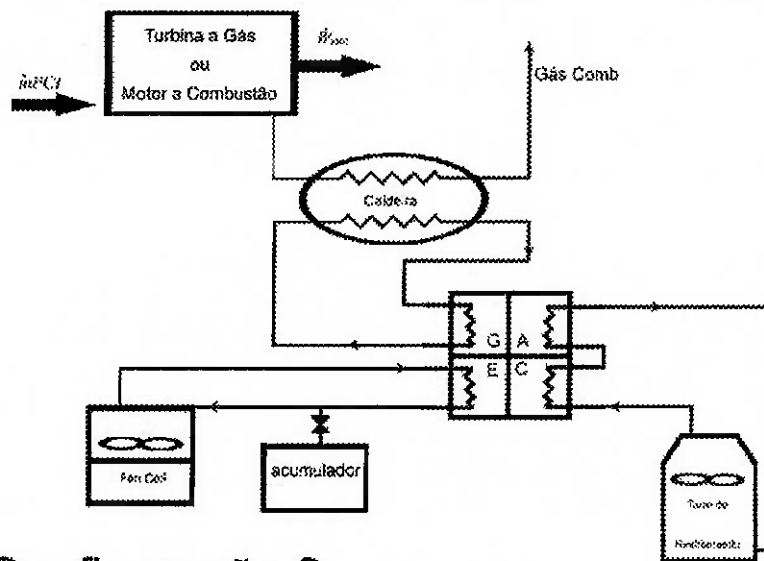


figura 8.2- caso 1

- b. **Configuração 2:** Chiller operando em regime estacionário 24h por dia, com capacidade nominal máxima de 2350kW (670TR). O excedente de água gelada ("frio gerado") será armazenado em termoacumuladores de água gelada, que será utilizado no horário de

pico. O valor nominal de operação foi obtido pela média das cargas durante o dia.:



Configuração 2

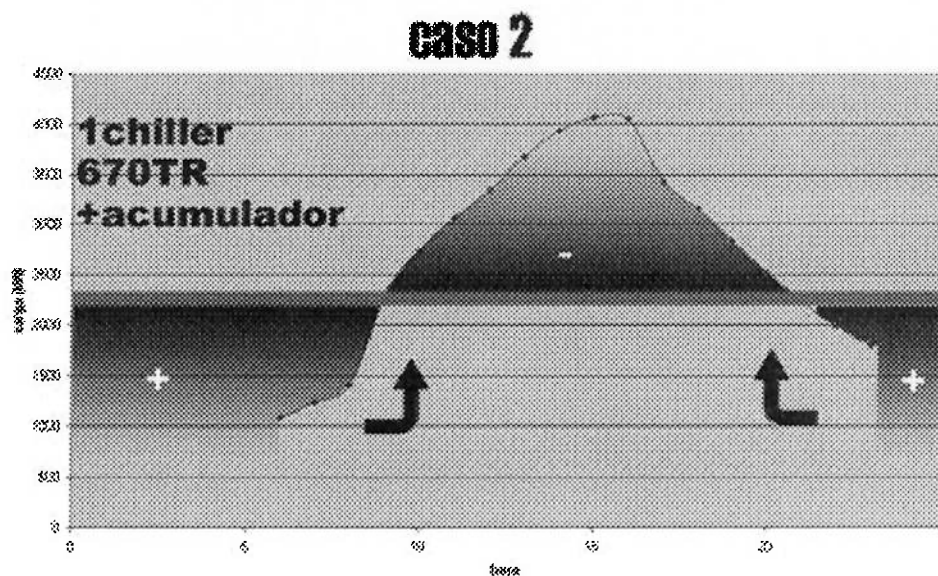
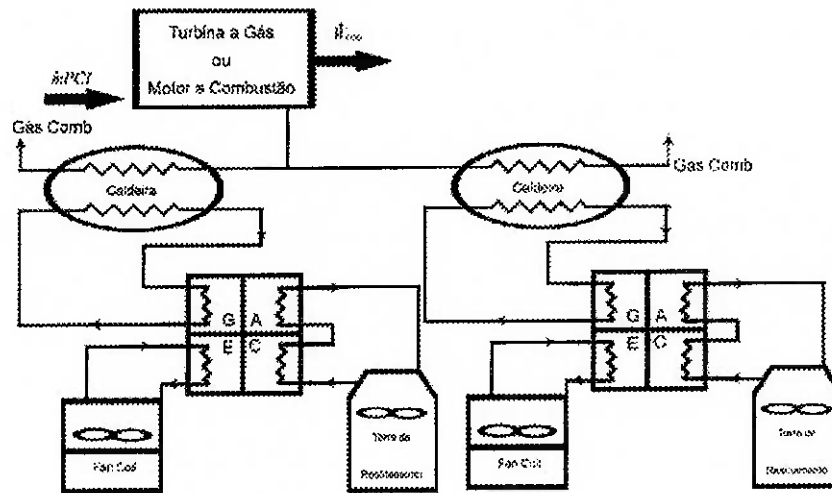


figura 8.3 – caso 2

- c. **Configuração 3:** Um Chiller principal opera de 6h às 23h, com capacidade nominal máxima de 2700kW (770TR) e outro auxiliar de 1300kW (370TR) é acionado de 11h às 20h. Não existe termoacumulação neste caso. Os valores foram determinados pela diferença entre a carga térmica máxima e mínima, tendo a base

mínima de operação. Dividindo o excedente por dois somando à média, conseguiram-se os valores de 2500 kW e 1500kW. Ajustaram-se então estes números para valores nominais mais comuns nos catálogos de chillers.



Configuração 3

caso 3

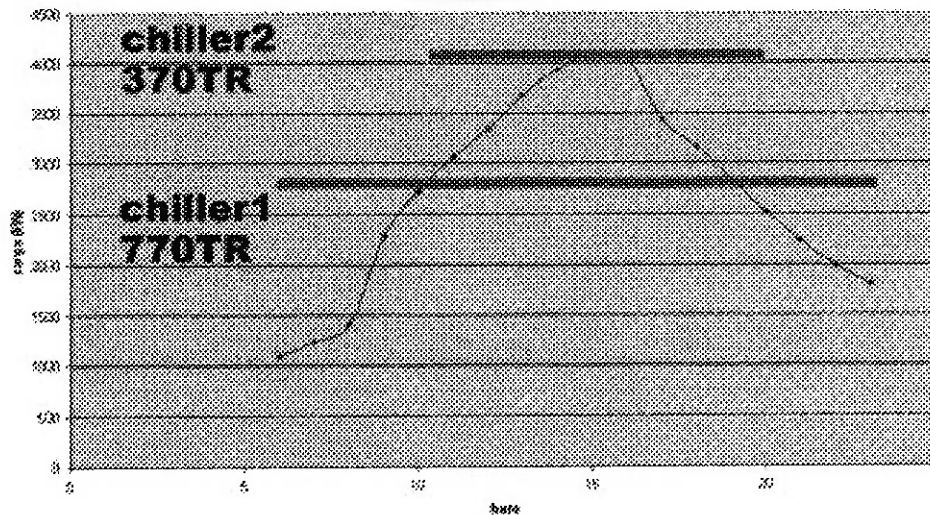
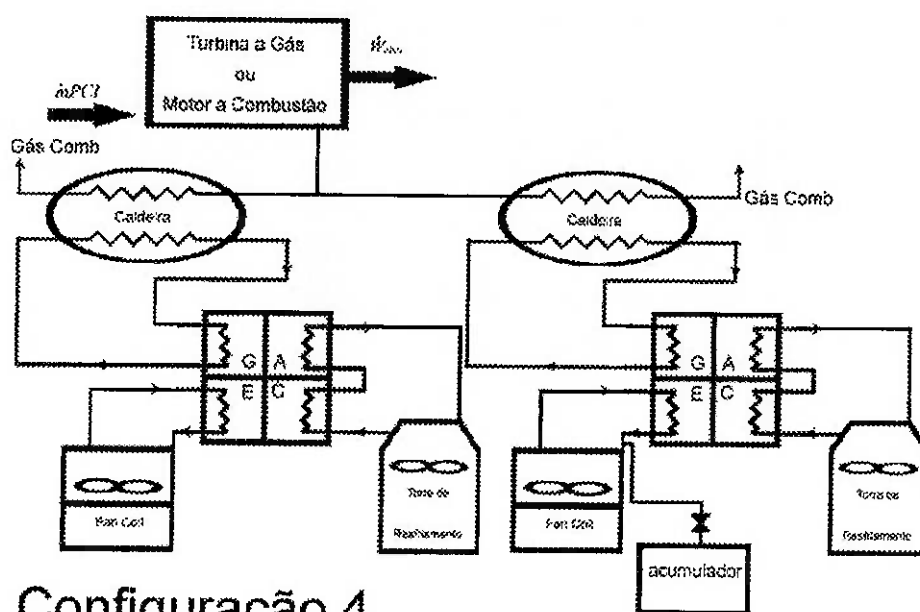


figura 8.4 – caso 3

- d. **Configuração 4:** Um Chiller principal opera em regime estacionário 24h por dia, com capacidade nominal máxima de 1870kW (530TR) e outro auxiliar de 350kW (100TR) é acionado de 11h às 17h. Todo o excedente gerado é acumulado em reservatórios de água gelada, que

serão utilizados nos horários de pico. Os valores foram determinados pelo chiller secundário. Uma vez que existem termoacumuladores e este chiller auxiliar é o que terá maior “custo ocioso”, procurou-se aquele com menor valor nominal (e conseqüente menor preço), 100TR. A capacidade do chiller principal foi determinada usando-se balanço de energia, atentando-se ao fato de que os termoacumuladores eliminam a necessidade de se considerar a demanda instantânea da planta, sendo sua capacidade de armazenamento determinada pelo balanço de massa e energia para o período de 24h e permitindo que a máquina opere sempre em regime permanente e na faixa ótima de operação. Esta última solução é combinação da configuração 2 com a 3, e somente uma futura análise econômica poderá avaliar sua viabilidade.



caso 4

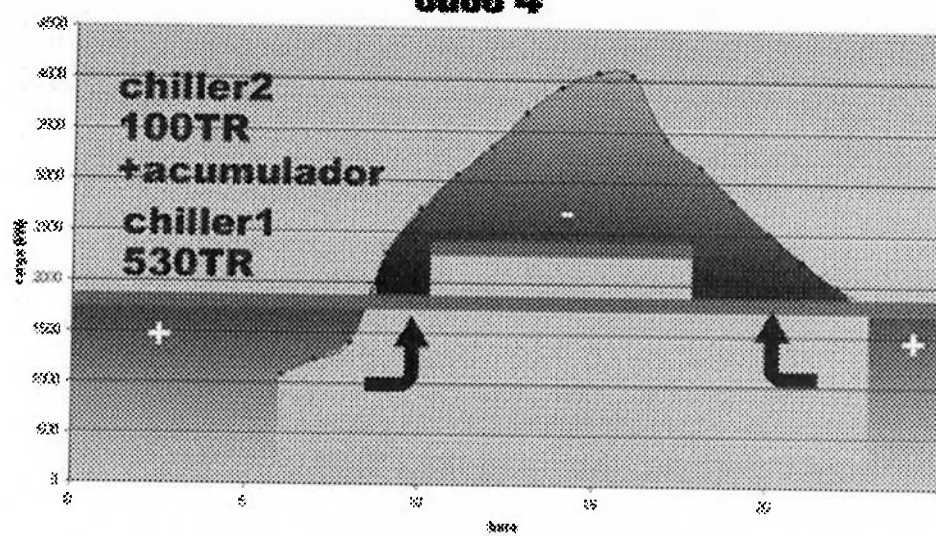


figura 8.5 – caso 4

9 Balanco de Massa e Energia

Foram estudados, para cada configuração, cinco chillers diferentes, a saber: Chiller de absorção de simples efeito usando vapor a 1,5 kgf/cm²G, chiller de absorção de duplo efeito usando vapor a 8 kgf/cm²G e a 6 kgf/cm²G. Finalmente, quando possível, selecionou-se também um chiller de água quente para 88°C ou 95°C.

Aplicando-se a 1ª Lei da Termodinâmica, obtiveram-se as tabelas anexadas (o volume de água gelada a ser armazenada também foi calculado e se encontra na mesma planilha).

Finalmente, deve-se acrescentar a máquina térmica à planta para total configuração do sistema de cogeração. Para as quatro configurações de chillers (cada uma com cinco opções), associaram-se as opções de Turbina à Gás ou Motor de Combustão Interna. A seleção do motor ou turbina foi efetuada usando-se a primeira Lei da Termodinâmica:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p (T_{saída} - T_{entrada})$$

Onde

Q é o calor a ser fornecido pela Caldeira de Recuperação

m é a vazão mássica dos gases de combustão

C_p é o calor específico dos gases de combustão (valor simplificado para o Ar)

T_{saída} é a temperatura que o gás sai da caldeira de recuperação (30°C acima da água)

T_{entrada} é a temperatura que o gás entra na caldeira de recuperação

Com os dados obtidos pelo balanço de massa, as variáveis que restam são a vazão **m** dos gases e a temperatura de entrada do gás na caldeira (temperatura de saída do motor do gás de escape). Deste modo, com a ajuda do catálogo do fabricante, escolheu-se um modelo cuja combinação de **m** e *T_{entrada}* satisfizesse as condições impostas pelo sistema de água gelada e, ao mesmo tempo, oferecesse a potência de eixo necessária para a planta.

10 Localização da Planta

A localização da planta será no local conhecido como “terreno de eventos” (entre os prédios da Administração e da Elétrica). A razão principal para esta escolha é a simetria e a disponibilidade do local.

Dois dutos principais (o Riba-Tejo e o Além-Tejo) distribuirão água gelada para seus respectivos ramos. Esta solução visa diminuir ao máximo a quantidade de dutos, apesar de um estudo mais aprofundado sobre a melhor configuração e local de planta deva ser realizada para determinar a posição ótima destes.

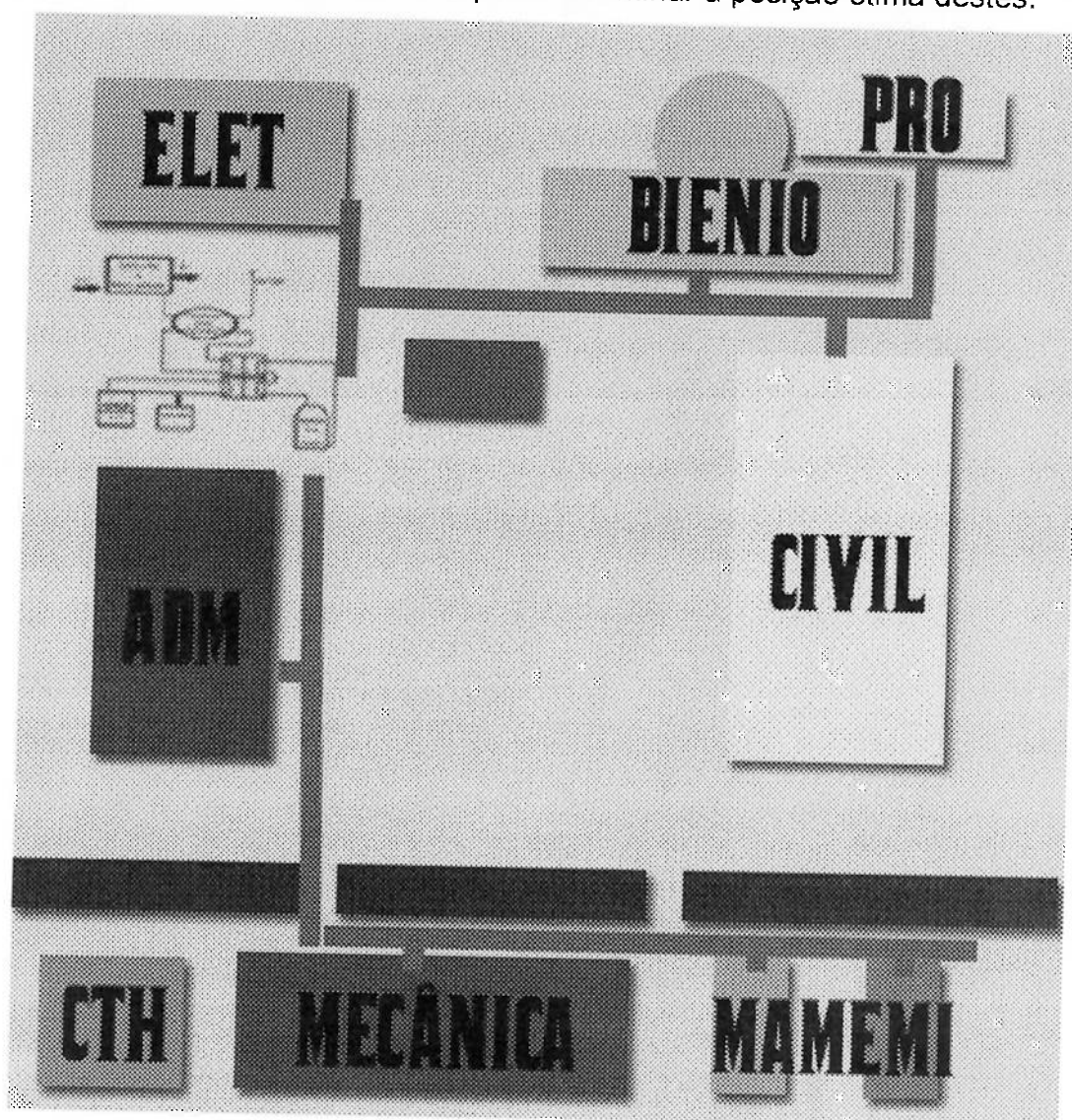


figura 10.1 – layout

11 Análise Econômica

De posse ao catálogo de fabricantes, encontrou-se uma combinação de m e $T_{entrada}$ que fosse condizente com a potência de eixo requerida (2700kWe). Uma vez que o total de alternativas possíveis supera o número de 50, algumas configurações de plantas foram escolhidas para uma análise econômica.

Baseados principalmente no know-how do professor orientador, foram escolhidas as seguintes plantas para a análise econômica (todas as máquinas funcionando com Gás Natural):

- **Planta I:** Motor Ciclo Otto Caterpillar (G3616 – TA 130 LE) 2880 kWe + Chiller de Absorção Duplo Efeito LG (LSH-G070) 670TR (alimentado por vapor a 8kgf/cm²g) + Torre de Resfriamento de 4197kW + caldeira de recuperação + acumulador de água gelada (1100m³).
- **Planta II:** Motor Ciclo Otto Caterpillar (G3616 – TA 130 LE) 2880 kWe + Chiller de Absorção Duplo Efeito LG (LSH-G070) 770TR + Chiller de Absorção Duplo Efeito LG (LSH-G040) 370TR (alimentados por vapor a 8kgf/cm²g) + Torre de Resfriamento de 7190kW + caldeira de recuperação
- **Planta III:** Turbina a Gás Solar (Centaur 40) 3515 kWe + Chiller de Absorção Duplo Efeito LG (LSH-G070) 670TR (alimentado por vapor a 8kgf/cm²g) + Torre de Resfriamento de 4197kW + caldeira de recuperação + acumulador de água gelada (1100m³).
- **Planta IV:** Turbina a Gás Solar (Centaur 40) 3515 kWe + Chiller de Absorção Duplo Efeito LG (LSH-G070) 770TR + Chiller de Absorção Duplo Efeito LG (LSH-G040) 370TR (alimentados por vapor a 8kgf/cm²g) + Torre de Resfriamento de 7190kW + caldeira de recuperação.

Nota-se que a máquina térmica supre, em todos os casos, tanto a demanda elétrica quanto a térmica. Isto poderia não acontecer, isto é, se a vazão (ou temperatura) dos gases não fosse suficiente para abastecer o sistema de água gelada, seria necessário o uso auxiliar de ciclos frigoríficos convencionais ou a queima complementar extra de combustível para geração de frio. Outro caso seria se, apesar da vazão dos gases ser suficiente para a demanda térmica, a potência de eixo (energia gerada) não fosse satisfatória, sendo esta complementada pela energia comprada da rede.

Na análise econômica, compararam-se dois casos distintos de referência:

- **Situação atual:** na atual configuração, não existe ar condicionado nas salas de aula, principal componente da carga térmica calculada. Deste modo, compara-se a economia bruta de energia elétrica (rede versus gás natural), com um “bônus” de ar condicionado.
- **Situação virtual:** esta é uma situação hipotética onde a carga térmica da EPUSP é suprida por ciclos convencionais de compressão, acionados por energia elétrica. Esta situação foi estudada para se confrontar os usos das fontes energéticas.

A análise econômica visa verificar a viabilidade do projeto. Os parâmetros que servem para a análise são:

- **Investimento Inicial:** capital para implementação do projeto. Inclui custo dos equipamentos a serem adquiridos, mão de obra, fretes, etc
- **Custo de Operação e Manutenção:** custo anual que considera o capital gasto em gás natural, operadores, manutenção dos equipamentos, etc
- **Economia Bruta Anual:** diferença entre os custos operacionais atuais com cada alternativa analisada
- **Valor Presente Líquido:** diferença entre o valor da economia bruta com o investimento inicial. O tempo necessário para que estes dois valores se

anulem (ou seja, o projeto se pagar) é o tempo de retorno (Pay Back Time).

Custos de Investimento

Considerou-se que os seguintes equipamentos seriam importados: Motor de Combustão Interna, Turbina a Gás + Compressor Gás Natural e todos os Chillers de Absorção. Uma vez que estes aparelhos são importados, deverão passar por algumas adaptações e ajustes, discriminados como Internalização.

Na Planta de Utilidades, além das máquinas supra-citadas, foram considerados os custos de torres de resfriamento, termoacumuladores (quando necessário), assim como custos de interligação e impostos.

Para a integração entre prédios, uma vez que não existe sistema de ar condicionado nestes, foram associados os custos de Fan-Coil (e acessórios) por TR e custos de dutos por unidade de comprimento.

Finalmente, entra como custo de instalação valores associados a frete, montagem, engenharia e obras civis. Os valores para cada alternativa são apresentados em anexo.

Custos de Operação e Manutenção

Os custos atuais de energia elétrica foram obtidos com base nos dados fornecidos pelo GePEA, em função do consumo na Cidade Universitária e na sua tarifação. O consumo de gás natural foi obtido por valores catalogados e pelo método apresentado na *Comgás* (fórmula em função do consumo mensal). Obteve-se um custo de R\$ 0,23 por m³ de combustível.

Foram também considerados os custos de pessoal, a saber: operadores, supervisores e mecânicos, assim como os encargos salariais. Para cada máquina, um preço de manutenção anual foi acrescido. Os valores obtidos estão em anexo.

Tempo de Retorno de Investimento

No Brasil, um tempo de retorno de investimento (Pay Back) abaixo de cinco anos pode ser considerado viável, merecendo estudos aprofundados para melhor caracterizar a implantação do projeto.

O tempo de depreciação dos equipamentos foi adotado como sendo de 10 anos em média, em função os principais equipamentos.

A planta que apresentou menor tempo de retorno foi a de número III (Turbina a Gás com Termoacumulação), para ambas as situações. Apesar disso, um tempo de retorno de 13 anos (ou 7 anos, se caso virtual) é considerado inadequado para a situação econômica do país.

12 Conclusões

Com as freqüentes promessas de crise energética do país, a busca de alternativas para uso racional de energia é de vital importância. Mesmo dentro da USP, a capacidade da subestação de energia se encontra perigosamente no limite. A utilização não racional de aparelhos de ar condicionado de janela já está mudando o perfil de sazonalidade da USP.

Apesar do atual cenário não viabilizar a implantação da central de utilidades, um futuro barateamento do gás natural ou encarecimento das tarifas energéticas não deve ser descartado como fator importante para novas análises.

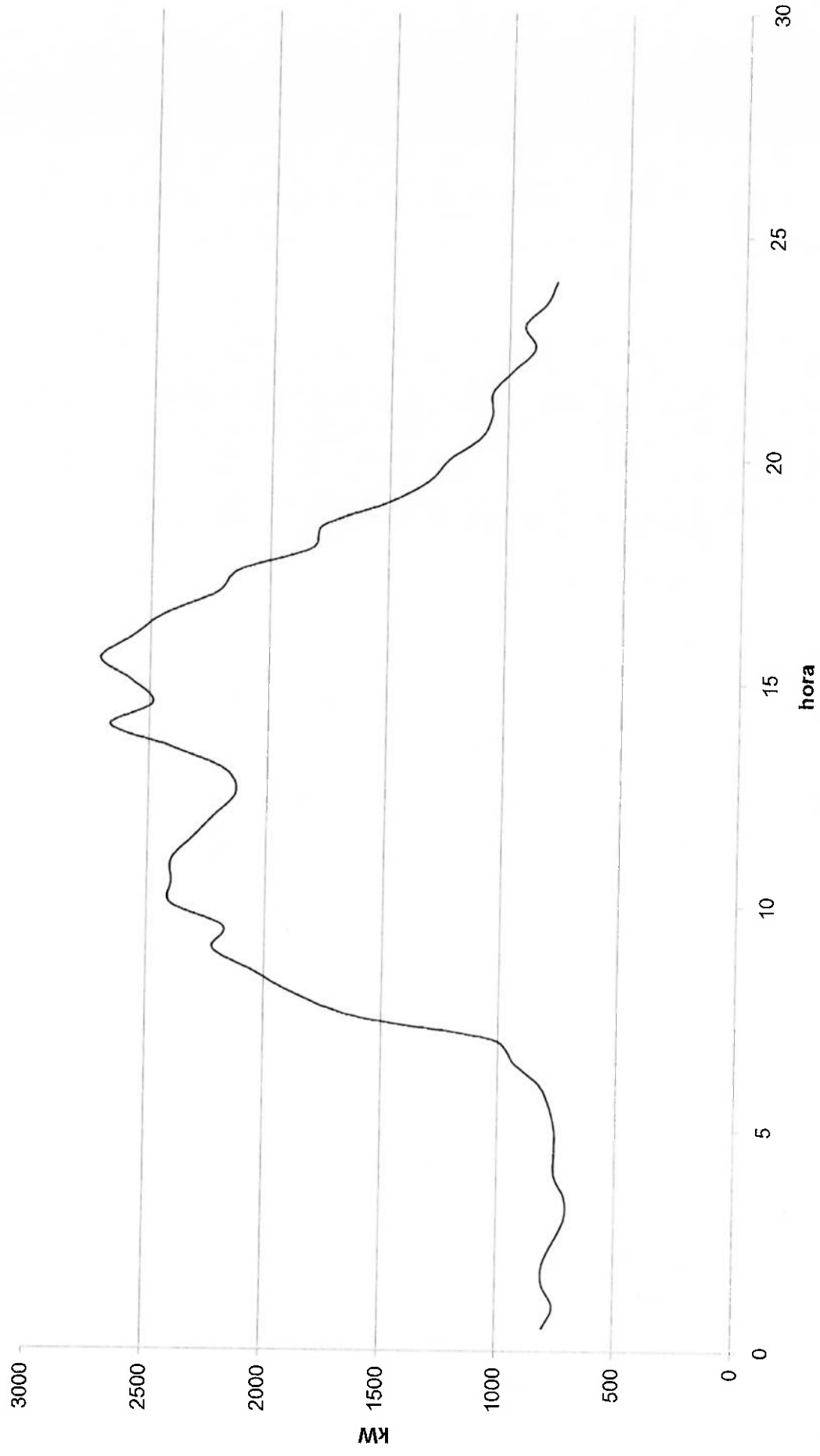
13 Bibliografia

- [1] INCROPERA, Frank P, *Fundamentos da Transferência de Calor e Massa*, 4ª Edição, 1998, LTC Editora, Rio de Janeiro - RJ
- [2] VAN WYLEN, Gordon J, *Fundamentos da Termodinâmica*, 5ª Edição, 1998, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo – SP
- [3] HORLOCK, J. H., *Cogeneration – Combined Heat and Power*, 1ª Edição, 1987, Krieger Publishing Company, Malabar – Florida
- [4] ONSITE SYCOM Energy Corp, *The Market and Technical Potencial for Combined Heat and Power in the Commercial/Institutional Sector*, revision 1, 2000, Washington DC
- [5] STOECKER, W. F, *Design Of Thermal Systems*, 2ª edição, 1980, McGraw-Hill Book Company, São Paulo
- [6] Carvalho, Maurício, *Estudo da Viabilidade de Instalação de um Sistema de Termoacumulação Visando Redução no Consumo de Energia Elétrica*, Trabalho de Graduação - UFRS, 2002
- [7] PERRY, *Perry's Chemical Engineering Handbook*, 3ª Edição, 1987

14 Anexos

1. *Demanda Elétrica POLI*
2. *Carga Térmica POLI*
3. *Comparativo – Carga Térmica POLI*
4. *Carga Térmica Produção*
5. *Carga Térmica Minas*
6. *Carga Térmica Metalurgia*
7. *Carga Térmica Mecânica*
8. *Carga Térmica Elétrica*
9. *Carga Térmica Civil*
10. *Carga Térmica Biênio*
11. *Carga Térmica Administração*
12. - *Balanço de Energia caso 1*
13. - *Balanço de Energia caso 2*
14. - *Balanço de Energia caso 3*
15. - *Balanço de Energia caso 4*
16. - *Balanço de Energia caldeira de recuperação*
17. - *Configuração de Planta 1*
18. - *Configuração de Planta 2*
19. - *Configuração de Planta 3*
20. - *Configuração de Planta 4*
21. - *Configuração de Planta usando água do motor*
22. – *Custos de Operação e Manutenção*
23. – *Investimentos*
24. – *Tempo de Retorno*

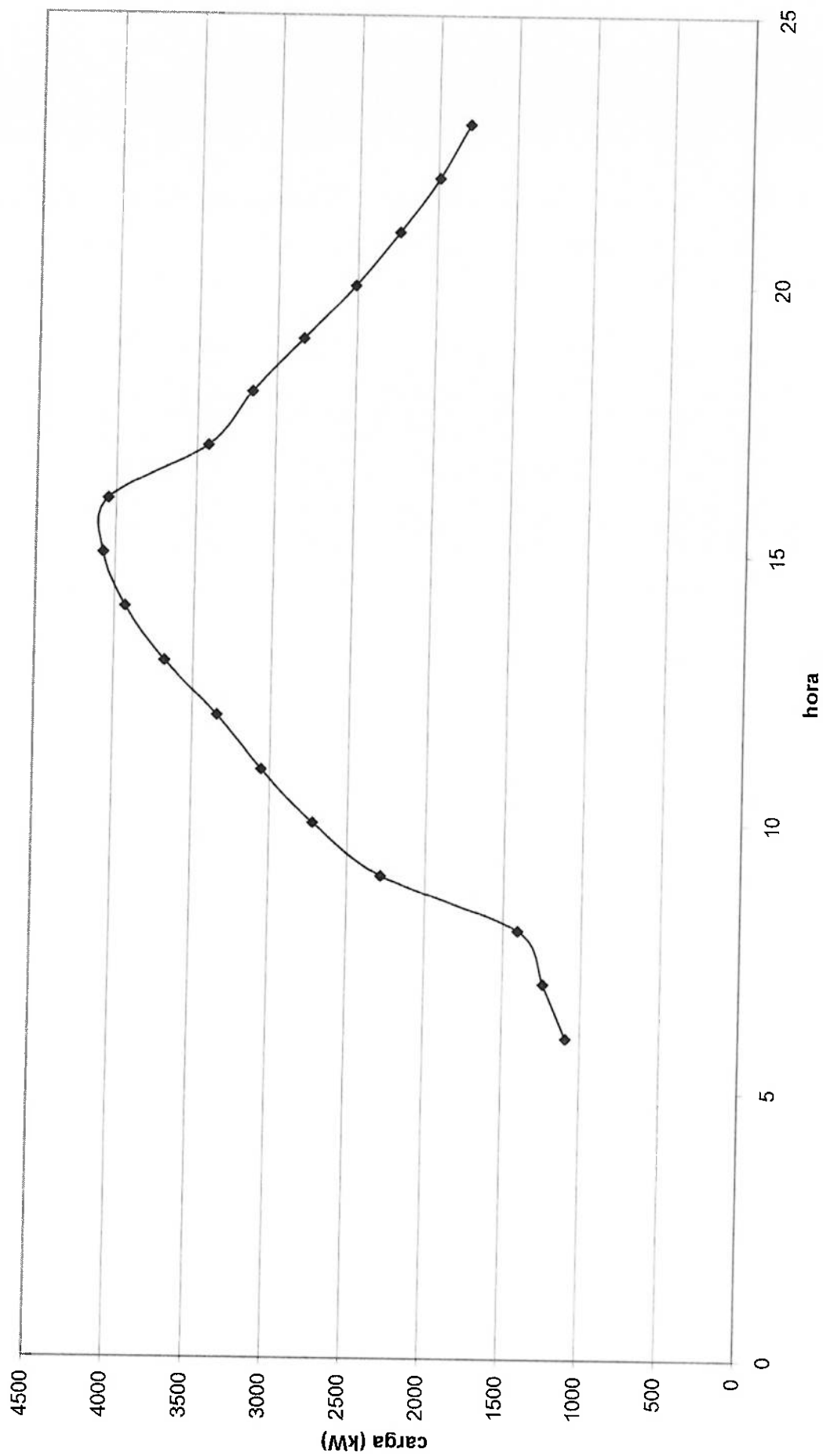
Demanda Eléctrica POLI



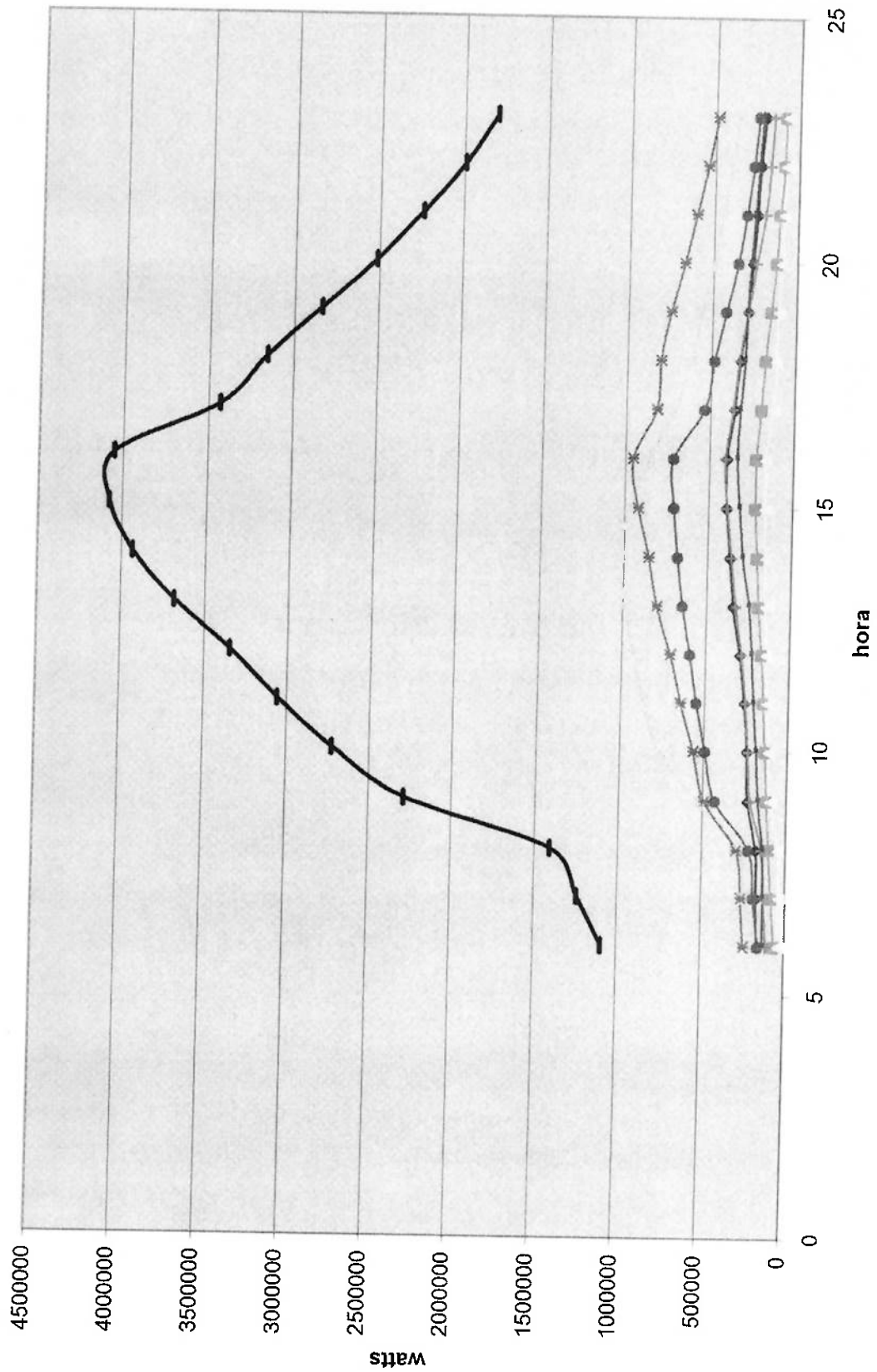
Demanda Elétrica kW

hora	Elétrica	minas	metal	civil	adm	mecânica	cth	biênio	TOTAL Cenário Atual	TOTAL Cenário Virtual	Ciclo refrigeração com COP	3	
0,5	180	73,8	73,8	132,84	44,28	88,56	171,1865	35,4174	799,8839	799,8839	Carga Térmica Extra		
1	170	69,7	69,7	125,46	41,82	83,64	161,6761	33,44977	755,4459	755,4459			
1,5	180	73,8	73,8	132,84	44,28	88,56	171,1865	35,4174	799,8839	799,8839			
2	180	73,8	73,8	132,84	44,28	88,56	171,1865	35,4174	799,8839	799,8839			
2,5	170	69,7	69,7	125,46	41,82	83,64	161,6761	33,44977	755,4459	755,4459			
3	160	65,6	65,6	118,08	39,36	78,72	152,1658	31,48214	711,0079	711,0079			
3,5	160	65,6	65,6	118,08	39,36	78,72	152,1658	31,48214	711,0079	711,0079			
4	170	69,7	69,7	125,46	41,82	83,64	161,6761	33,44977	755,4459	755,4459			
4,5	170	69,7	69,7	125,46	41,82	83,64	161,6761	33,44977	755,4459	755,4459			
5	170	69,7	69,7	125,46	41,82	83,64	161,6761	33,44977	755,4459	755,4459			
5,5	175	71,75	71,75	129,15	43,05	86,1	166,4313	34,43359	777,6649	777,6649			
6	185	75,85	75,85	136,53	45,51	91,02	175,9417	36,40122	822,1029	1186,244			
6,5	210	86,1	86,1	154,98	51,66	103,32	199,7176	41,3203	933,1979	1297,339			
7	230	94,3	94,3	169,74	56,58	113,16	218,7383	45,25557	1022,074	1435,624			
7,5	360	147,6	147,6	265,68	88,56	177,12	342,373	70,83481	1599,768	2013,318			
8	420	172,2	172,2	309,96	103,32	206,64	399,4351	82,64061	1866,396	2335,713			
8,5	460	188,6	188,6	339,48	113,16	226,32	437,4766	90,51114	2044,148	2513,465			
9	500	205	205	369	123	246	475,518	98,38168	2221,9	2984,109			
9,5	490	200,9	200,9	361,62	120,54	241,08	466,0076	96,41404	2177,462	2939,671			
10	540	221,4	221,4	398,52	132,84	265,68	513,5594	106,2522	2399,652	3308,074			
10,5	540	221,4	221,4	398,52	132,84	265,68	513,5594	106,2522	2399,652	3308,074			
11	540	221,4	221,4	398,52	132,84	265,68	513,5594	106,2522	2399,652	3419,17			
11,5	520	213,2	213,2	383,76	127,92	255,84	494,5387	102,3169	2310,776	3330,294			
12	500	205	205	369	123	246	475,518	98,38168	2221,9	3336,202			
12,5	480	196,8	196,8	354,24	118,08	236,16	456,4973	94,44641	2133,024	3247,326			
13	490	200,9	200,9	361,62	120,54	241,08	466,0076	96,41404	2177,462	3404,874			
13,5	540	221,4	221,4	398,52	132,84	265,68	513,5594	106,2522	2399,652	3627,064			
14	600	246	246	442,8	147,6	295,2	570,6216	118,058	2666,28	3977,359			
14,5	560	229,6	229,6	413,28	137,76	275,52	532,5802	110,1875	2488,528	3799,607			
15	580	237,8	237,8	428,04	142,68	285,36	551,6009	114,1227	2577,404	3936,598			
15,5	610	250,1	250,1	450,18	150,06	300,12	580,132	120,0256	2710,718	4069,912			
16	580	237,8	237,8	428,04	142,68	285,36	551,6009	114,1227	2577,404	3927,772			
16,5	550	225,5	225,5	405,9	135,3	270,6	523,0698	108,2198	2444,09	3794,458			
17	500	205	205	369	123	246	475,518	98,38168	2221,9	3365,412			
17,5	480	196,8	196,8	354,24	118,08	236,16	456,4973	94,44641	2133,024	3276,536			
18	410	168,1	168,1	302,58	100,86	201,72	389,9248	80,67298	1821,958	2874,432			
18,5	400	164	164	295,2	98,4	196,8	380,4144	78,70534	1777,52	2829,994			
19	340	139,4	139,4	250,92	83,64	167,28	323,3522	66,89954	1510,892	2456,168			
19,5	300	123	123	221,4	73,8	147,6	285,3108	59,02901	1333,14	2278,416			
20	280	114,8	114,8	206,64	68,88	137,76	266,2901	55,09374	1244,264	2082,044			
20,5	250	102,5	102,5	184,5	61,5	123	237,759	49,19084	1110,95	1948,73			
21	240	98,4	98,4	177,12	59,04	118,08	228,2486	47,22321	1066,512	1812,842			
21,5	240	98,4	98,4	177,12	59,04	118,08	228,2486	47,22321	1066,512	1812,842			
22	220	90,2	90,2	162,36	54,12	108,24	209,2279	43,28794	977,6359	1641,062			
22,5	200	82	82	147,6	49,2	98,4	190,2072	39,35267	888,7599	1552,186			
23	210	86,1	86,1	154,98	51,66	103,32	199,7176	41,3203	933,1979	1533,91			
23,5	190	77,9	77,9	140,22	46,74	93,48	180,6968	37,38504	844,3219	1445,034			
24	180	73,8	73,8	132,84	44,28	88,56	171,1865	35,4174	799,8839	799,8839			
Consumo Diário kWh									37350,13	53639,16			
Consumo Mensal MWh									1120,504	1609,175			
Consumo Anual MWh									13446	19310			

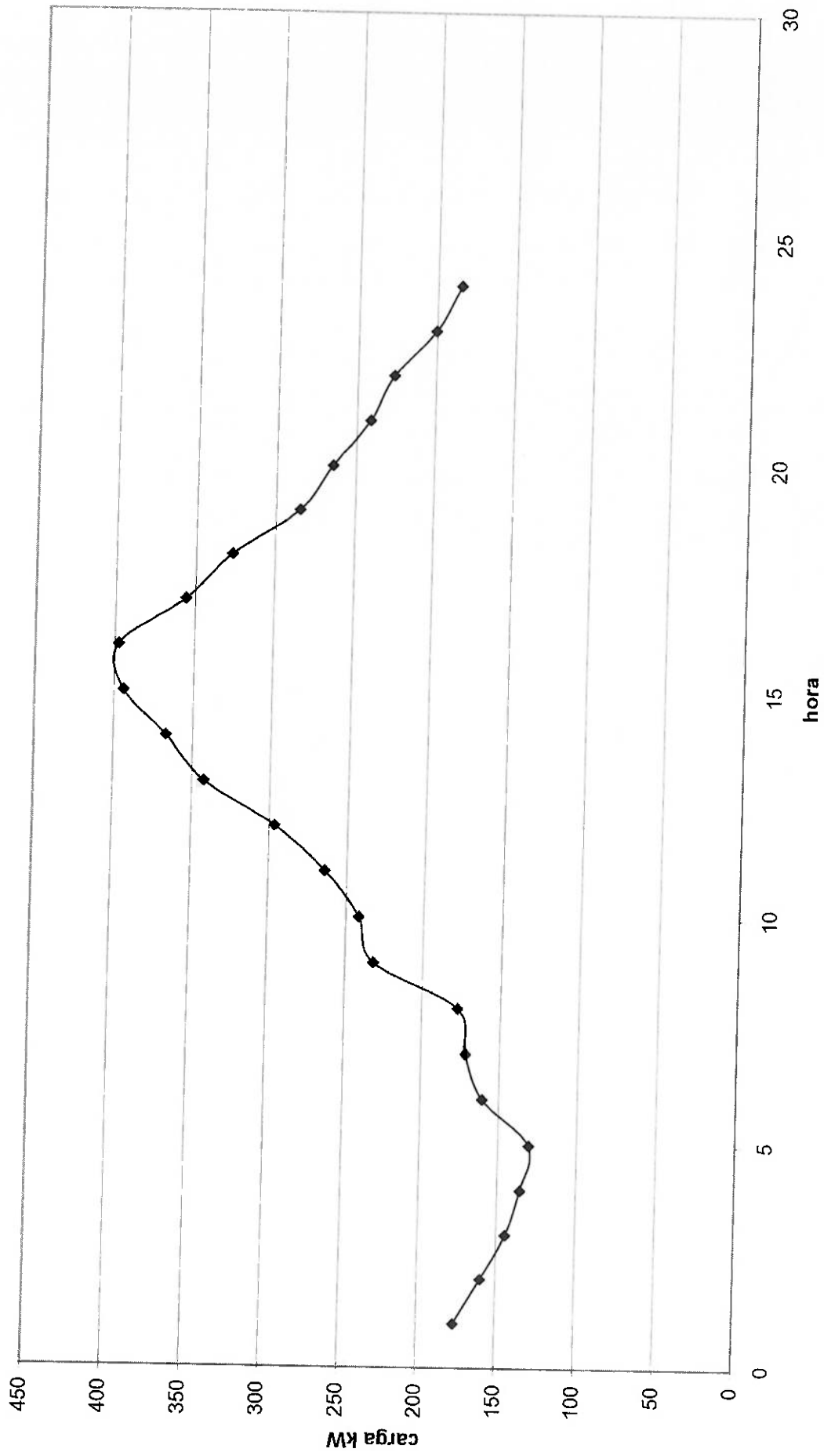
carga térmica poli



Hora	produção	minas	metal	mechanica	elétrica	civil	biênio	adm	TOTAL
6	160709,2	59233,94	34658,71	202742,5	243538,3	154279,6	109204,6	128055,2	1092422
7	171767	83519,25	38780,9	236884,7	264560,3	188553,8	126350,3	130235,4	1240652
8	177644	101369	45692,52	279685,8	299996,1	223329,1	143783,5	136452,9	1407953
9	232003,9	118903,6	94436,29	536417,7	492884,7	428961,6	214927,6	168091,2	2286626
10	241893,7	133640,1	110121	769387,9	561439,4	490688,3	234649,2	183448,7	2725268
11	264152,8	150455,2	125419,7	864223	643394,7	549082,1	254811,1	207015,2	3058554
12	296850,9	165036,1	135454	933869,4	711545,3	592757,4	284255,1	223138,5	3342907
13	342675	190822,2	147110	988817,5	796824,1	643632,9	327591,2	244765,1	3682238
14	367063,9	204333,1	153615,7	1029138	852252,1	678686,2	359440,7	288707,2	3933237
15	394381	219278,8	162410,6	967357,1	919787,4	707678,3	391998	314691,2	4077582
16	397831,3	220367,4	166390,4	854493,2	956538,6	714891,5	407785	332808,3	4051106
17	356152	196742	123427,1	715759,7	818840	534434,1	364408,1	320774,6	3430538
18	327006,7	178927,5	115842,9	623394,5	798789,6	483905,7	332506,5	297048,3	3157422
19	284724,3	149329,4	105297,8	557591,2	746569,4	418017,3	284432,7	289867,5	2835830
20	264657,5	123887,8	92321,32	494064	670885,8	353069,1	242910,3	271744,5	2513340
21	241275,7	109514,6	81978,5	448023,7	603878,9	306183,6	193061	255073,1	2238989
22	226744,1	86163,68	72425,22	398143,2	538753,8	267386	166964	233698,3	1990278
23	200653,4	78937,54	67575,49	359653	484806,9	241265,7	152329	216915,2	1802136

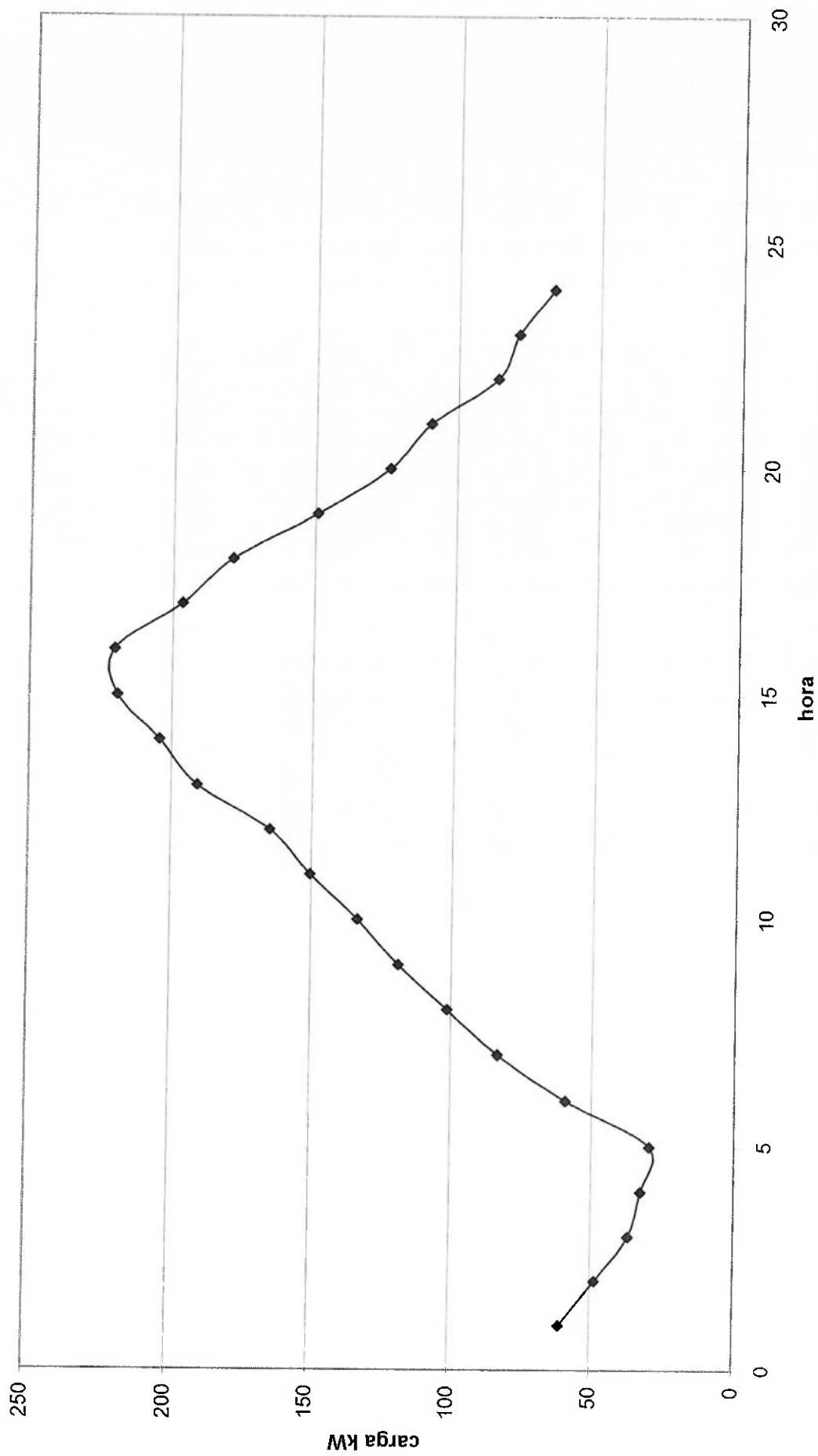
[illegible]

carga termica produção



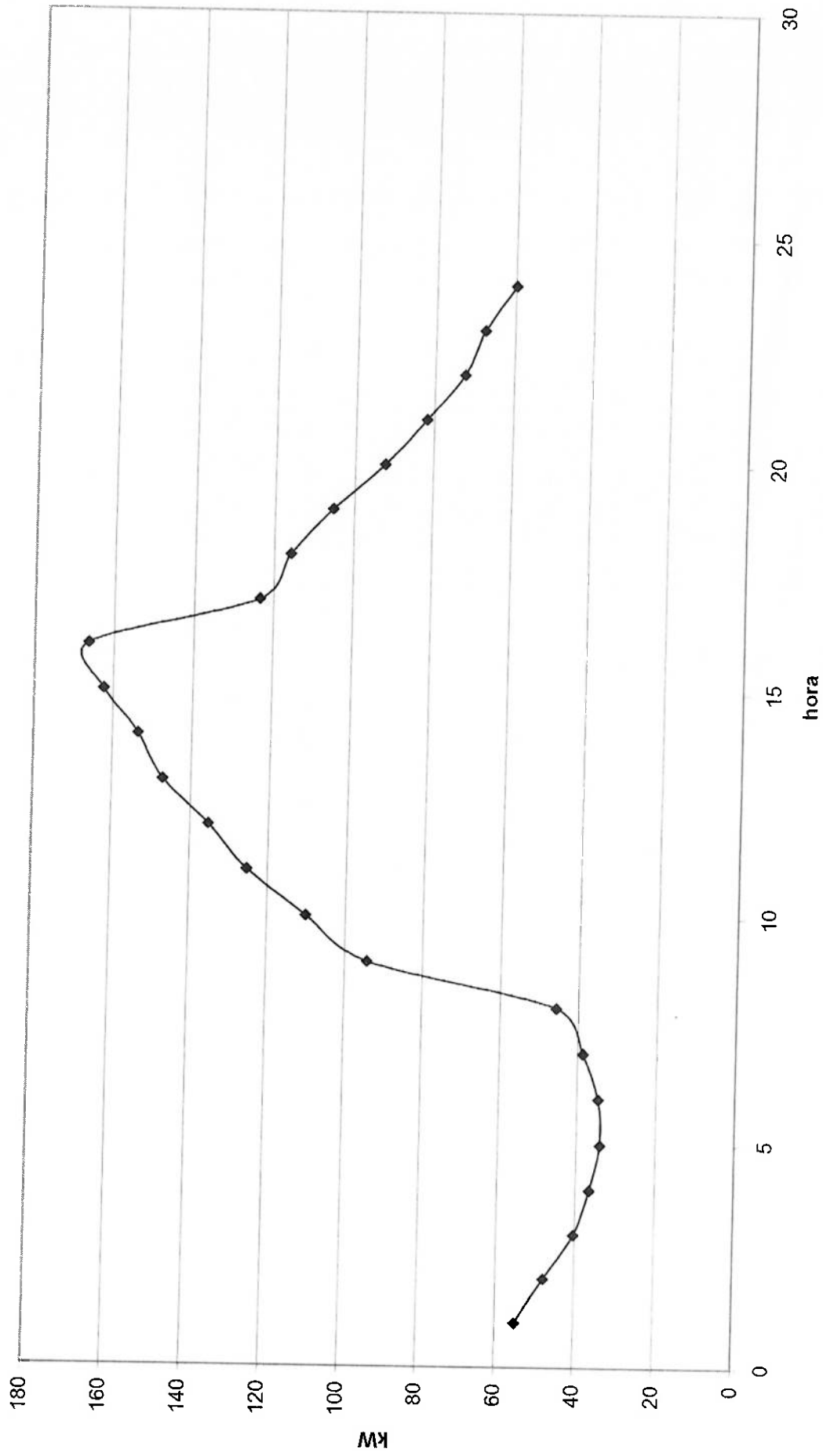
Hora	Q(Watts)								
	D1	D2-inf	D2-sup	D3	F	Vanzolini	G	total	total (kW)
1	25625,51	24374,77	35753,46	16420,77	12726,28	39446,62	22108,42	176455,8	176,4558
2	23560,87	22278,11	33558,84	14970,3	11244,32	35000,64	19224,44	159837,5	159,8375
3	21867,75	20556,91	31273,27	13619,53	9950,922	30703,63	16489,43	144461,4	144,4614
4	20616,3	19575,15	29844,13	12590,54	9336,975	28198,27	15546,07	135707,4	135,7074
5	19889,51	18889,97	29093,9	12172,45	8894,578	26703,94	14832,74	130477,1	130,4771
6	19763,65	18792,14	32566,7	11561,45	12957,09	38079,19	26988,99	160709,2	160,7092
7	19398,95	18629,13	34441,46	10949,95	14375,12	42140,77	31831,57	171767	171,767
8	19545,24	19289,6	35478,66	11070,27	15129,34	43329,52	33801,32	177644	177,644
9	28124,34	29631,99	46665,07	13873,55	20216,5	51510,31	41982,11	232003,9	232,0039
10	29951,84	31826,05	48319,74	16687,08	21004,36	52206,89	41897,69	241893,7	241,8937
11	32378,92	34565,59	51290,24	18761,39	23494,39	57376,22	46286,02	264152,8	264,1528
12	34634,99	36603,97	55644,92	20715,05	27137,3	67383,46	54731,26	296850,9	296,8509
13	37605,86	39237,71	61888,02	23443,18	32031,12	81732,14	66736,94	342675	342,675
14	39057,39	40210,38	65632,2	24797,07	34633,36	89645,37	73088,17	367063,9	367,0639
15	41256,08	42125,21	69883,49	27210,24	37309,23	97748,46	78848,26	394381	394,381
16	42086,95	42824,91	70965,73	26578,69	37557,99	99139,62	78677,42	397831,3	397,8313
17	42085,65	42587,45	68913,37	24153,98	30109,03	85163,36	63139,16	356152	356,152
18	41778,5	42551,24	65175,48	23783,3	25808,73	75357,33	52552,13	327006,7	327,0067
19	40538,19	41568,04	59864,39	22711,85	20367,35	61239,82	38434,62	284724,3	284,7243
20	39456,23	39973,35	57098,08	21298,96	17999,28	55818,42	33013,22	264657,5	264,6575
21	38850,31	39166,34	44780,82	20250,04	16510,2	51871,1	29846,9	241275,7	241,2757
22	38018,4	38337,29	41373,8	18836,45	15290,55	47674,91	27212,71	226744,1	226,7441
23	29367,41	28642,93	39474,85	18098,39	14608,23	44680,87	25780,67	200653,4	200,6534
24	27090,97	25951,14	37206,25	17039,09	13305,55	41246,86	23127,66	184967,5	184,9675

carga termica minas



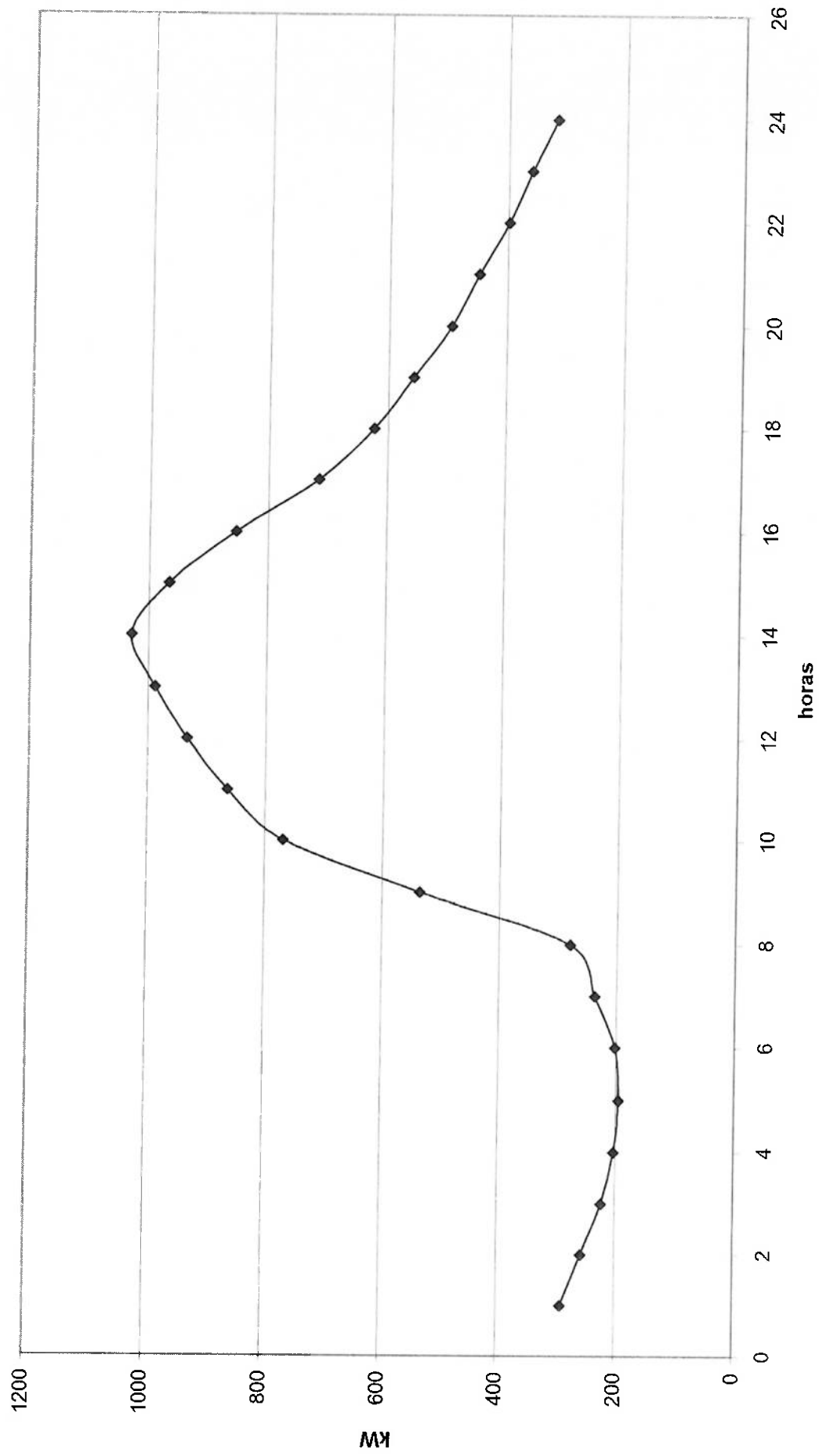
hora	inferior	biblio	professore aulas	total	total kW
1	7316,763	13079,82	9748,841	30862,18	61,0076
2	4883,354	10504,44	6860,58	26227,75	48,47612
3	2524,465	8120,91	4031,043	22257,28	36,9337
4	2115,973	7008,868	3387,475	20155,37	32,66768
5	2246,135	6032,781	2714,782	18582,5	29,5762
6	24019,02	7523,66	6486,303	21204,96	59,23394
7	38931,36	9615,701	9503,722	25468,46	83,51925
8	44706,51	12844,97	12890,99	30926,57	101,369
9	44752,28	19039,82	18730,81	36380,7	118,9036
10	38739,43	22461,77	21500,92	50938,02	133,6401
11	39131,46	26399,2	26889,14	58035,38	150,4552
12	44778,64	28099,22	31327,27	60831,01	165,0361
13	56136,83	30914,63	38185,48	65585,25	190,8222
14	63437,28	32186,58	41192,57	67516,71	204,3331
15	68938,02	34373,21	44938,3	71029,26	219,2788
16	68515,25	35101,55	45462,63	71287,97	220,3674
17	57470,88	31290,97	39076,54	68903,61	196,742
18	45204,38	30288,52	35410,5	68024,13	178,9275
19	27756,08	27931,24	29081,58	64560,48	149,3294
20	18248,84	24075,25	22536,04	59027,69	123,8878
21	14089,92	21404,43	18683,34	55336,87	109,5146
22	10869,41	18468,68	15118,52	41707,08	86,16368
23	10120,17	16921,76	13734,12	38161,49	78,93754
24	7699,484	14429,38	10815,99	33490,79	66,43565

CARGA TERMICA METAL



hora	prof	labs	aulas	biblio	total	total kW
1	10205,81	18491,37	14467,83	11947,67	55112,67	55,11267
2	8881,101	15583,88	12435,88	11022,41	47923,27	47,92327
3	7570,947	12509,11	10461,6	9865,999	40407,65	40,40765
4	6743,024	11231,8	9656,303	8991,726	36622,85	36,62285
5	5962,07	9480,021	10270,95	8364,511	34077,55	34,07755
6	6019,06	9769,996	10494,5	8375,152	34658,71	34,65871
7	6532,637	11752,81	11781,61	8713,841	38780,9	38,7809
8	7617,999	14818,15	13820,27	9436,097	45692,52	45,69252
9	12881,97	43415,69	25212,37	12926,26	94436,29	94,43629
10	15372,02	51571,87	28684,66	14492,42	110121	110,121
11	17792,89	59758,52	32018,84	15849,45	125419,7	125,4197
12	19563,32	65511,8	33495,97	16882,88	135454	135,454
13	21565,66	71427,46	36279,59	17837,31	147110	147,11
14	22977,24	74905,09	37236,3	18497,02	153615,7	153,6157
15	24506,06	79000,99	39274,89	19628,67	162410,6	162,4106
16	25426	80437,64	40227,16	20299,58	166390,4	166,3904
17	21530,64	54803,5	29701,98	17391	123427,1	123,4271
18	20514,33	49805,22	28100,57	17422,75	115842,9	115,8429
19	19025,83	43748,88	25678,73	16844,35	105297,8	105,2978
20	17069,47	36942,72	22392,09	15917,04	92321,32	92,32132
21	15185,54	31616,91	20106,89	15069,16	81978,5	81,9785
22	13587,14	26926,51	17894,62	14016,95	72425,22	72,42522
23	12570,35	23956,18	17237,31	13811,65	67575,49	67,57549
24	11212,3	20814,76	15238,56	12619,94	59885,56	59,88556

carga térmica mecânica



Hora

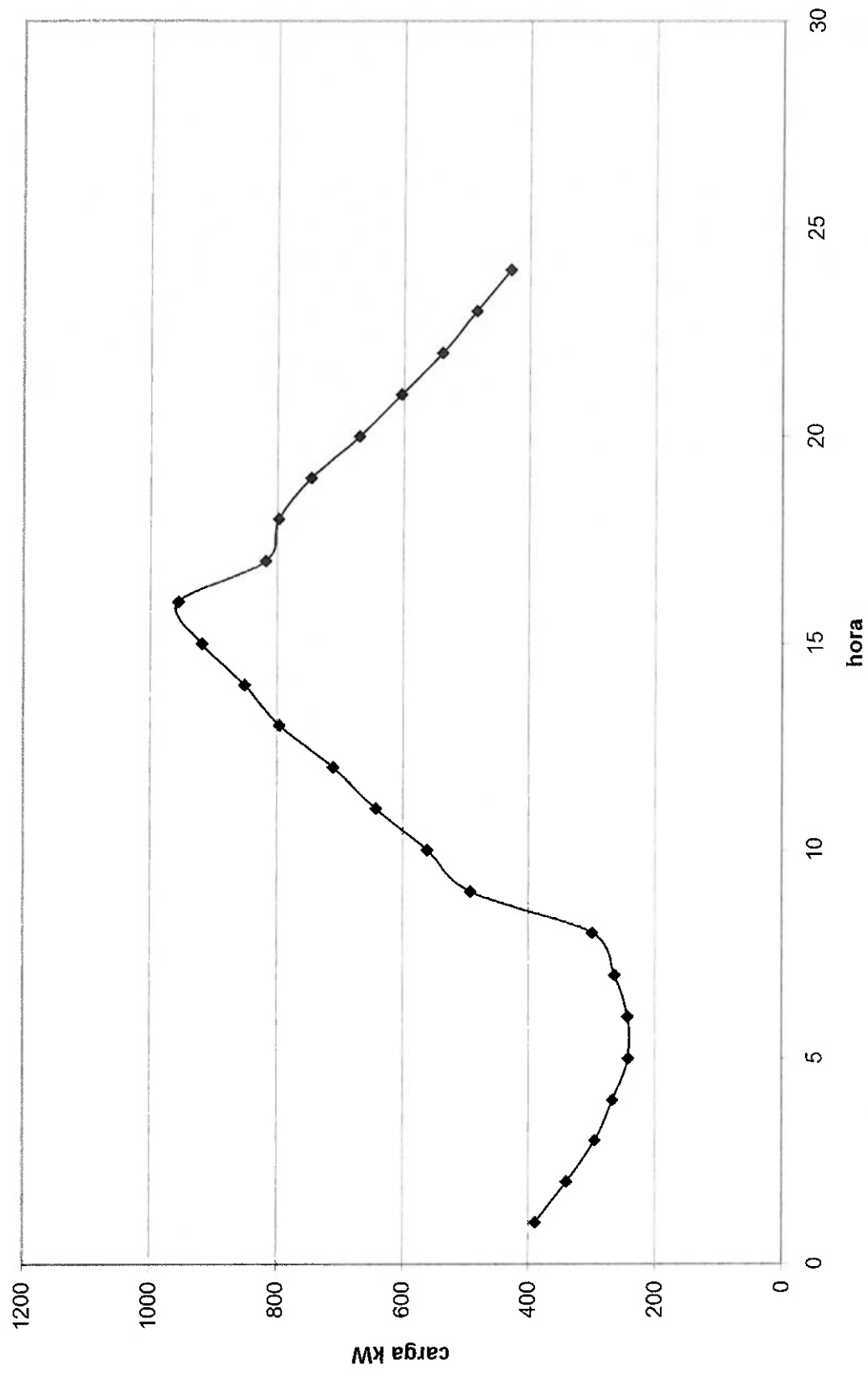
Mecánica

	horikawa	elitario	afilindo	alberto	LMO NE	termica S	termica N	auditorio	xerox	aula	CAM	biblioteca	LMO SW	secretaria	silvio	nicola	total	total (kW)
1	3356.696	16051.39	9238.372	12650.81	17215.12	13109.46	18996.84	14064.01	15593.19	88563.73	29152.1	8117.2	20568.39	5584.972	9711.019	9471.289	291444.6	291,444.6
2	2735.21	11822.57	7723.978	10981.8	14818.68	11551.98	18089.35	11292.46	14317.06	81071.23	26519.13	6782.211	17718.76	4696.627	8535.756	8440.014	257096.8	257,096.8
3	2167.732	7514.306	6588.494	9262.033	12639.1	10000.7	15276.34	10527.19	13268.95	74164.01	23072.53	5316.637	15005.41	3885.419	7466.23	7213.661	223368.7	223,368.7
4	2021.902	6958.754	5776.276	8491.486	11835.16	8930.03	12684.84	9600.563	12213.34	68595.81	20684.09	4802.581	13793.14	3509.648	6705.759	6448.378	203051.7	203,051.7
5	1744.224	14763.37	5090.234	7485.493	9887.306	7853.457	12189.32	9025.798	11354.76	64961.91	18999.27	5723.971	12165.72	3080.508	5835.817	5704.356	196955.5	195,955.5
6	2888.754	20994.4	4859.547	7115.003	10656.43	6443.598	10828.62	8580.425	10351.65	64188.81	22520.95	8718.931	10602.65	2721.366	5690.441	5610.929	202742.5	202,742.5
7	3918.074	39402.61	5465.742	8311.681	11235.07	6438.932	11555.81	8241.728	10191.14	70882.73	22714.86	11591.59	10636.68	3201.333	7146.39	5950.328	236884.7	236,884.7
8	5045.772	57967.69	7407.642	9723.326	10727.84	5509.683	12559.94	8025.767	10524.19	83720.34	23939.14	13614.15	10037.14	4014.368	9725.422	7243.384	279685.8	279,685.8
9	13401.28	87130.48	17039.03	23793.3	87017.24	43300.23	13383.29	8134.862	11994.32	103677.6	26466.99	16900.27	40507.43	9021.976	18969.02	15680.38	536417.7	536,417.7
10	15366.97	99475.58	20545.75	27725.25	98929.84	48964.4	125760.9	8622.212	17654.95	159101.6	31600.35	17406.23	46188.38	10882.57	23056.47	18306.41	769387.9	769,387.9
11	17523.79	107579.8	24215.74	31907.35	108756.8	53735.12	143420.4	9155.648	20112.63	181363.2	35695.44	18623.88	51874.85	12567.33	26532.78	21148.18	864223	864,223
12	19146.94	107897.2	27003.03	36942.59	116690.8	57081.89	156432	9809.754	21906.76	197812.6	39529.33	19488.16	57215.24	14127.38	28969.56	23816.19	933869.4	933,869.4
13	20639.39	109077.3	29503.17	42827.48	121749	60911.07	167295.1	10360.24	23369.88	203456	42650.77	21742.35	62714.88	15784.4	30513.97	26192.53	988817.5	988,817.5
14	21092.33	10942.9	30563.17	46983.2	126169.3	63571.49	173507.7	10980.22	24680.48	210205.3	45342.24	22995.9	67777.37	16896.83	31153.47	27776.29	1029138	1029,138
15	21638.71	111278.4	31914.96	50568.7	56386.69	67322.37	179672.7	11465.01	26138.1	214307.6	48002.24	24430.65	45247.32	18195.83	31641.62	29146.08	967357.1	967,357.1
16	21416.4	108222	32145.42	51784.29	47415.45	70240.06	72713.23	11880.12	27454.23	212495.6	50073.49	24422.49	44481.19	18815.82	31353.34	29680	854493.2	854,493.2
17	13035.86	83802.34	24110.41	38228.61	40212.1	34271.11	57445.63	12155.66	26292.35	207190.2	51210.41	22286.08	41999.07	14722.1	24707.45	22090.39	715759.7	715,759.7
18	11018.08	71156.22	22601.56	33429.73	36148.53	30445.35	49028.75	19494.81	24789.96	159303.6	48070.85	20315.27	41560.85	13911.43	22074.77	20044.75	623394.5	623,394.5
19	8908.136	55966.61	20656.21	27212.52	33245.91	27091.39	42629.7	20814.59	24651.03	143962.5	45963.91	17135.01	36399.65	12524.95	19917.22	17521.83	557591.2	557,591.2
20	6952.582	41400.01	17708.27	23774.48	29541.09	24319.82	37478.85	21528.84	23642.47	129658.6	42692.93	15342.12	36408.74	10842.72	17304.23	15468.28	494064	494,064
21	5812.22	33597.99	15754.08	21091.45	27061.91	21326.33	32551.9	21851.48	22119.34	121152.9	40680.78	12390.46	33391.23	9617.818	15477.16	14146.65	448023.7	448,023.7
22	4957.064	27061.35	13803.83	18551.27	23357.5	18669.31	29638.25	16773.3	20530.16	111726.1	37708.67	10961.85	29243.9	8360.787	13958.12	12841.71	398143.2	398,143.2
23	4384.18	23470.1	12052.84	16487.3	20565.57	16522.07	24502	15087.14	18552.99	103891.8	35545.19	10226.04	26352.78	7442.175	12112.5	11858.33	359653	359,653
24	3648.374	18359.21	10331.82	14154.57	18181.26	14573.61	21588.34	14633.41	17061.34	94464.65	31817.37	8757.234	22709.4	6255.937	10764.23	10376.48	317677.3	317,677.3

55 TR

292 TR

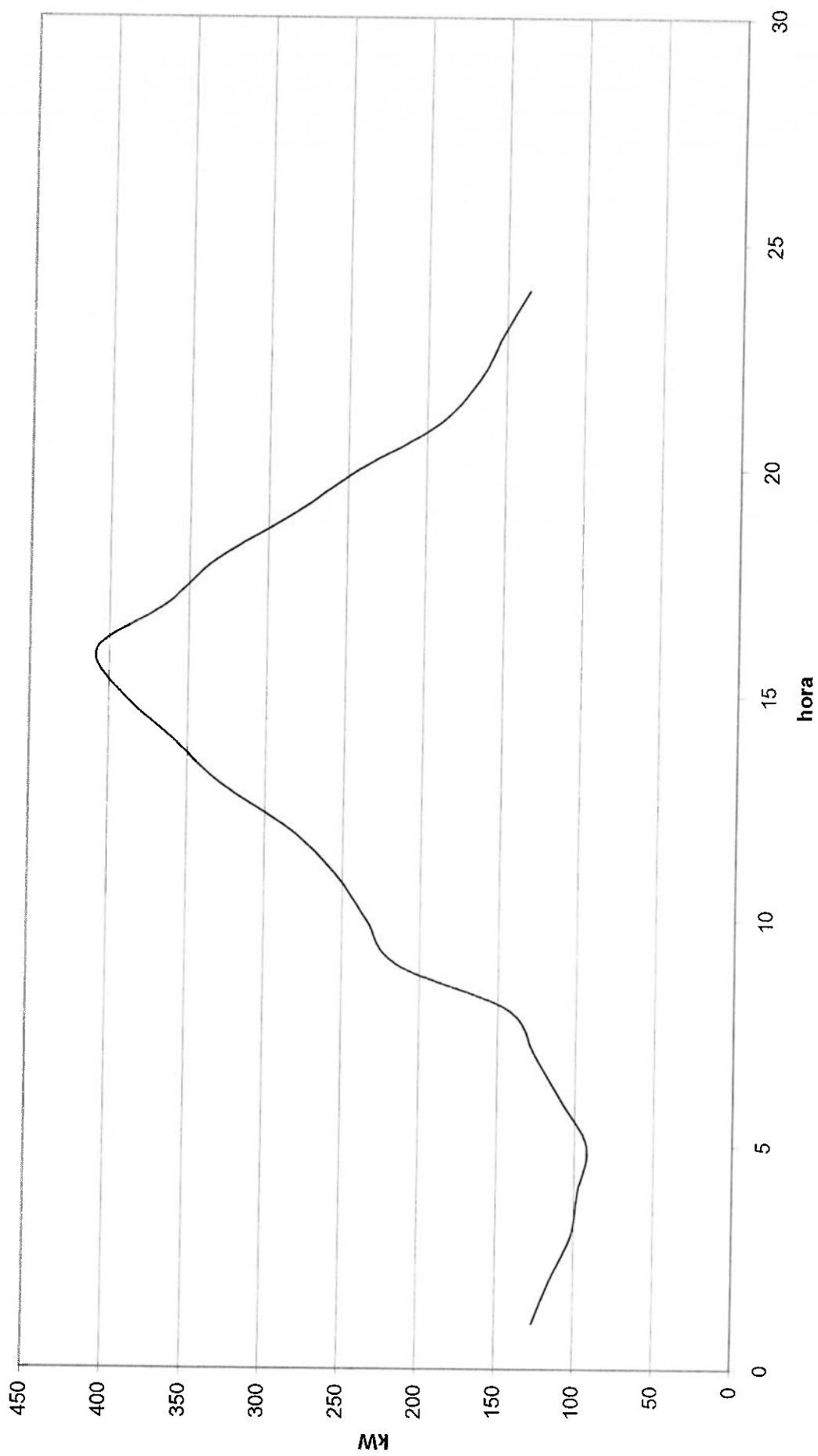
carga térmica elétrica



—●— Sequência1

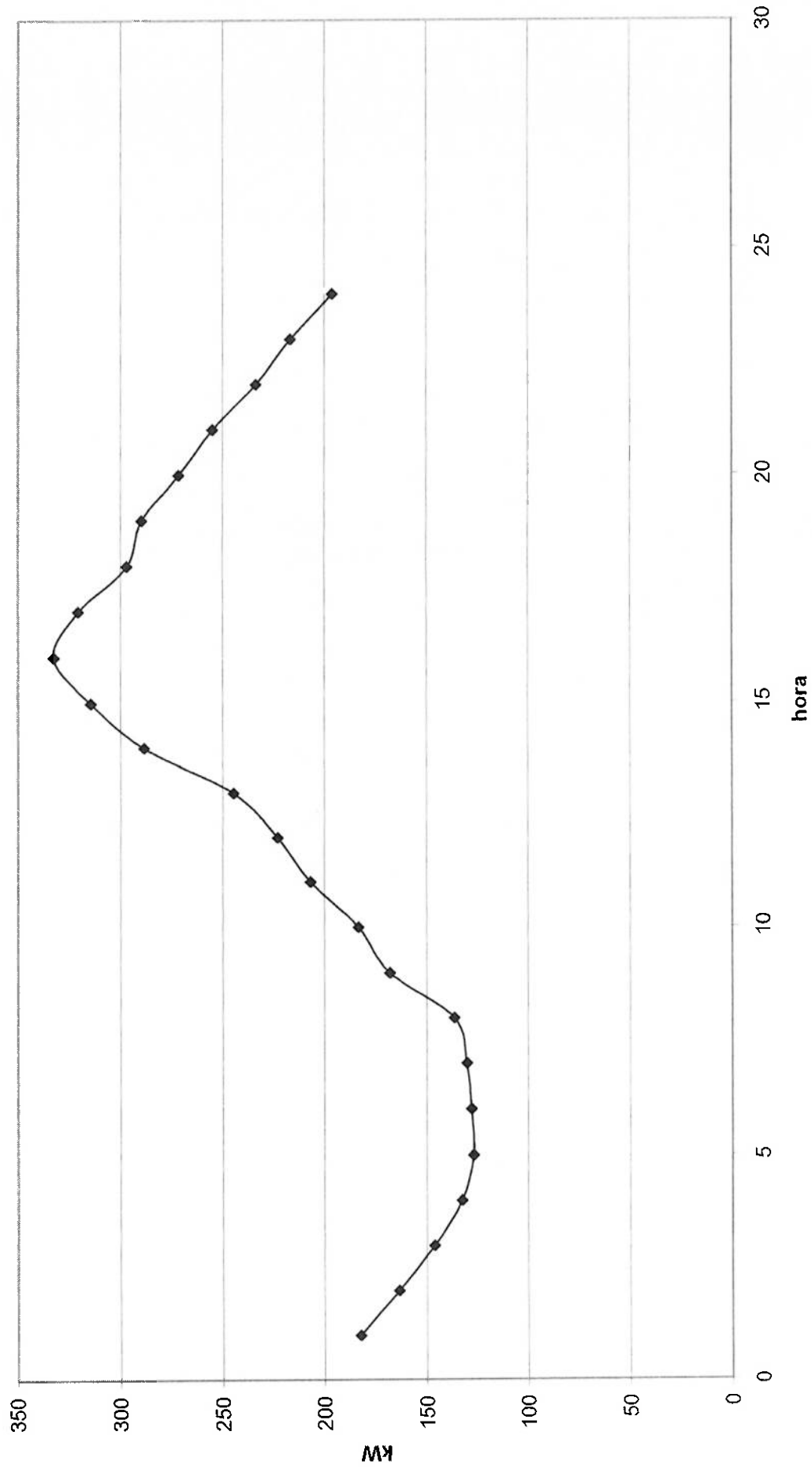
hora	A	Binf	Bsup	D terreo	D2	Cinf	D1	Csup	total	total kW
1	61098,23	33980,78	50332,67	63861,15	25035,17	54161,59	40616,82	60560,97	389647,4	389,6474
2	54094,42	31433,82	46976,9	56259,68	21463,33	46398,6	34381,62	49532,65	340541	340,541
3	48775	28284,13	44287,59	49220,3	18188,53	39168,75	28563,47	38755,27	295243	295,243
4	44003,33	26433,25	41461,39	44739,83	15833,05	36071,53	24944,46	33973,18	267460	267,46
5	40672,85	23897,72	38950,32	41606,28	14120,28	33227,88	22144,7	28146,56	242766,6	242,7666
6	38612,59	22046,84	36540,01	40201,92	14771,96	33033,36	24246,34	34085,27	243538,3	243,5383
7	39790,35	20244,97	36330,8	41136,22	16771,87	36154,3	28639,51	45492,31	264560,3	264,5603
8	44060,61	19499,89	37252,85	44175,65	19938,32	41963,92	34558,96	58545,88	299996,1	299,9961
9	80597,89	27573,46	59660,05	66748,86	29258,39	77789,7	57886,66	93369,71	492884,7	492,8847
10	90723,04	31232,03	67093,78	74839,48	36528,39	88439,23	64654,57	107928,9	561439,4	561,4394
11	102248,6	34904,25	74650,77	85305,23	42596,63	102051	74474,62	127163,6	643394,7	643,3947
12	109342,8	37409,32	81027,07	94139,49	47675,72	111725,1	82788,34	147437,5	711545,3	711,5453
13	116454,4	40677,76	86121,91	106137,7	54401,72	124896,5	94942,2	173191,9	796824,1	796,8241
14	120122,1	42717,89	90800,86	112664,2	58925,24	131383,7	103096	192542,2	852252,1	852,2521
15	126635,5	44993,1	94428,05	122558,1	64210,12	141576,5	112895	212491,1	919787,4	919,7874
16	131574,6	47408,39	97497,24	128548,5	63664,86	147253	118368,1	222223,9	956538,6	956,5386
17	104718,3	42484,51	80832,71	113467,6	57612,76	118610	100941,6	200172,4	818840	818,84
18	106088,4	43878,52	79229,63	113079,6	56619,35	115108,9	97913,91	186871,4	798789,6	798,7896
19	105169,3	44262,65	77583,18	108354,3	52356,2	107032,3	88604,21	163207,2	746569,4	746,5694
20	98301,08	44907,28	73676,61	99624,02	46470,94	93915,8	77105,83	136684,2	670685,8	670,6858
21	90800,08	43951,45	68739,52	91612,52	41504,42	83811,13	68196,07	115263,7	603878,9	603,8789
22	82736,13	41779,65	63975,52	82717,35	36746,21	74014,41	59656,41	97128,07	538753,8	538,7538
23	74491,19	39253,27	58359,25	75813,78	32611,45	67652,02	53237,64	83388,26	484806,9	484,8069
24	67161,44	36565,31	54825,24	68534,49	28242,01	58798,61	45566,62	70151,59	429845,3	429,8453

carga térmica biênio



hora	pav 2	pav 1	pav terr	total	kW
1	46155,45	58321,06	21868,83	126345,3	126,3453
2	41730,83	53319,03	20146,34	115196,2	115,1962
3	36948,85	46837,07	18088,5	101874,4	101,8744
4	35253,83	44952,49	17521,37	97727,69	97,72769
5	33080,81	42448,12	16845,28	92374,21	92,37421
6	38698,18	50516,39	19990,02	109204,6	109,2046
7	45504,01	57731,8	23114,49	126350,3	126,3503
8	52239,47	65444,09	26099,93	143783,5	143,7835
9	80948,66	95913,01	38065,88	214927,6	214,9276
10	89789,75	103944,8	40914,59	234649,2	234,6492
11	98877,44	112169,3	43764,34	254811,1	254,8111
12	111020,6	124847,8	48386,73	284255,1	284,2551
13	127797,8	144130	55663,31	327591,2	327,5912
14	140954,6	157541,4	60944,71	359440,7	359,4407
15	153168,9	172422,3	66406,81	391998	391,998
16	158811,5	179810,1	69163,45	407785	407,785
17	133640,8	173091,1	57676,19	364408,1	364,4081
18	120259,6	160500,5	51746,36	332506,5	332,5065
19	100902,3	140406,3	43124,14	284432,7	284,4327
20	83784,98	123324,9	35800,38	242910,3	242,9103
21	71673,72	90267,95	31119,34	193061	193,061
22	61983,21	77656,75	27324,01	166964	166,964
23	55994,94	70867,52	25466,56	152329	152,329
24	50189,14	62504,09	23036,22	135729,5	135,7295

carga termica adm



hora	biblio	auditorio	patricia	alunos	diretor	process	cont	tesou	total	total kW
1	20397,98	67150,5	11263,32	15585,98	16663,13	24968,47	14582,65	12026,84	182638,9	182,6389
2	18475,14	63278,51	9687,977	13878,9	13980,19	21971,04	12362,62	10037,07	163671,4	163,6714
3	16480,47	60310,81	8181,348	11598,67	11381,11	19178,09	10598,72	8503,413	146232,6	146,2326
4	14444,89	56880,88	7300,846	10242,5	10320,38	17103,21	9158,309	7293,26	132744,3	132,7443
5	13230,02	54423,87	6571,267	9546,123	9396,656	16598,58	9448,164	7698,241	126912,9	126,9129
6	12296,42	52075,44	5864,687	12280,75	11427,8	17200,85	9272,016	7637,22	128055,2	128,0552
7	11279,31	50860,56	5647,029	13124,1	12683,33	17650,25	10255,22	8735,55	130235,4	130,2354
8	11312,03	50786,72	6649,843	13721,72	12818,73	18595,77	11986,31	10581,77	136452,9	136,4529
9	16074,75	52885,88	11143,61	16623,01	14803,88	25198,62	16383	14978,46	168091,2	168,0912
10	18392,72	57537,2	13902,4	15914,25	15041,42	27959,44	18110,48	16590,81	183448,7	183,4487
11	21823,02	61611,46	17750,41	17369,01	17521,91	31639,13	20467,53	18832,73	207015,2	207,0152
12	24174,12	65260,09	20440,85	18871,99	19492,81	33849,03	21457,32	19592,27	223138,5	223,1385
13	26809,61	68625,91	23360,44	20827,59	23070,3	37633,65	23324,01	21113,58	244765,1	244,7651
14	28938,32	102450,5	24342,7	22272,56	25273,37	39561,89	24154,3	21713,62	288707,2	288,7072
15	30848,21	112220,7	25666,08	24377,1	29140,55	42476,11	26374,26	23588,2	314691,2	314,6912
16	32486,65	119584,1	26181,66	26217,97	31958,37	44029,09	27683,38	24667,07	332808,3	332,8083
17	29559,97	125621,6	23133,03	24099,83	31274,79	39230,14	25550,91	22304,34	320774,6	320,7746
18	30134,18	97169,5	22572,68	25179,57	32733,89	39111,05	26754,57	23392,88	297048,3	297,0483
19	29746,74	94126,36	21303,33	24769,38	31898,31	37887,61	26748,74	23387,04	289867,5	289,8675
20	28669,46	89811,24	19241,98	23081,54	29164,6	35572,98	24782,17	21420,48	271744,5	271,7445
21	27544,48	85635,21	17220,65	21881,79	26551,75	33753,06	22866,35	19619,78	255073,1	255,0731
22	25706,93	80219,87	15570,55	20120,25	23264,75	30867,4	20482,42	17466,11	233698,3	233,6983
23	24397,23	75006,69	14063,42	19289,41	21355,84	29059,91	18264,36	15478,3	216915,2	216,9152
24	21887,3	70884,75	12545,03	16965,51	18232,61	26396,95	16095,56	13424,63	196432,3	196,4323

1 Chiller sem acumulador de água gelada operando de 6h ~ 23h : pico = 4000kW (1137TR)

ÁGUA

[illegible]

CASO 2

1 Chiller com acumulador de água gelada
operando 24h, devendo suprir 2352 kW (669TR)

de=double effect
se=single effect

VAPOR		GERADOR				EVAPORADOR						TR
modelo	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hlv (kJ/kg)	Calor GE (kW)	vazão de água gelada (kg/s)	calor específico (kJ/kg°C)	Tentrada (°C)	Tsaída (°C)	deltaT (°C)	Calor EVAP (kW)	Calor Torre de Resfriamento
LSH-G070 (de) 8kg/cm2G	0,85556	175	885	2032,4	1739	117,5	4,184	12	7	5	2458	4196,9
LSM-G080 (de) 6kg/cm2G	0,87028	164	688	2070	1801	115	4,184	12	7	5	2406	4207,3
VAC-E-690V (se) 1,5kg/c	1,5917	125	230	2188	3483	105,6	4,184	12,2	6,7	5,5	2430	5912,7

ÁGUA

AGUA												
Tin (°C) Tout (°C) delta T												
LG-G-710VL-12-7	163,89	88	83	5	3429	113,3	4,184	12	7	5	2370	5798,8
LG-G-710VD-12-7	53,611	95	80	15	3365	113,3	4,184	12	7	5	2370	5734,9

Total gerado em 24h 207360000 kJ
Total consumido em 17h 175950000 kJ
energia a armazenar 31410000 kJ

da tabela carga termica corrigida de água gelada a 7°C, que volta a 12°C usando a 1ª lei:

massa de água gelada a armazenar= 1072452,9 kg
Volume de água= 1072 m3

CASO 3

2 Chiller

de=double effect

chiller principal opera de 6h~23h a 2700kW

se=single effect

chiller secundário opera de 11h~20h a 1300kW

VAPOR

chiller principal		GERADOR				EVAPORADOR						TR	
modelo		alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hlv (kJ/kg)	Calor GE (kW)	vazão de água gelada (kg/s)	calor específico (kJ/kg°C)	Tentrada (°C)	Tsai da (°C)	delta T (°C)	Calor EVAP (kW)	Calor Torre de Resfriamento
LSH-G070 (de) 8kg/cm2G		0,9777	175	885	2032,4	1987,1	134	4,184	12	7	5	2803	4790,4
LSM-G090 (de) 6kg/cm2g		0,9797	164	688	2068	2026	128,8	4,184	12	7	5	2694	4720,5
VAC-E-770V (se) 1,5kg/cm2G		1,7111	127	247	2182,2	3734	129	4,184	12	7	5	2699	6432,6

ÁGUA

Tin (°C) Tout (°C) delta T

LG-G-710VL-13-8	170,2	88	83	5	3560,6	120	4,184	13	8	5	2510	6071,0
LG-G-710VD-13-8	55,27	95	80	15	3468,7	120	4,184	13	8	5	2510	5979,1

chiller secundário

chiller secundário	GERADOR				EVAPORADOR							TR
	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	h _{lv} (kJ/kg)	Calor GE (kW)	vazão de água gelada (kg/s)	calor específico (kJ/kg°C)	Tentrada (°C)	Tsaída (°C)	delta T (°C)	Calor EVAP (kW)	
LSH-G040 (de) 8kg/cm2G	0,4888928	175	885	2032,4	993,63	67	4,184	12	7	5	1402	2395,3
LSM-G045 (de) 6kg/cm2g	0,48972614	164	688	2068	1012,8	64,43	4,184	12	7	5	1348	2360,6
VAC-E-770V (se) 1,5kg/cm2G	0,888896	127	247	2182,2	1939,7	67	4,184	12	7	5	1402	3341,4

ÁGUA

Tin (°C) Tout (°C) delta T

LG-G-370VL-13-8	88,8	88	83	5	1857,7	62	4,184	13	8	5	1297	3154,7
LG-G-370VD-13-8	28,8	95	80	15	1807,5	62	4,184	13	8	5	1297	3104,5

CASO 4

2 Chillers com acumulador de água gelada
um opera 24h, carga cte de 1870kW
outro opera de 11h a 17h, carga cte de 350kW

de=double effect
se=single effect

VAPOR

chiller principal	GERADOR			EVAPORADOR							TR	
	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	h _{lv} (kJ/kg)	Calor GE (kW)	vazão de água gelada (kg/s)	calor específico (kJ/kg°C)	T _{entrada} (°C)	T _{saída} (°C)	delta T (°C)		Calor EVAP (kW)
modelo												Calor Torre de Resfriamento
LSM-G063 (de) 6kg/cm2g	0,49	164	688	2068	1013	90,3	4,184	12	7	5	1889	2902,4
VAC-E-550V (se) 1,5kg/cm2G	1,2222	127	247	2182,2	2667	92,2	4,184	12	7	5	1929	4595,9

ÁGUA

ÁGUA																
		Tin (°C)		Tout (°C)		delta T										
LG-E-520VL-13-8		124,7		88		83	5	2609		87,8	4,184	13	8	5	1837	4445,5
LG-E-520VD-13-8		40,5		95		80	15	2542		87,8	4,184	13	8	5	1837	4378,6

chiller secundário

chiller secundário	GERADOR					EVAPORADOR					TR	
	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hlv (kJ/kg)	Calor GE (kW)	vazão de água gelada (kg/s)	calor específico (kJ/kg°C)	Tentrada (°C)	Tsaída (°C)	delta T (°C)	Calor EVAP (kW)	Calor Torre de Resfriamento
modelo												
LSM-G045 (de) 6kg/cm2g	0,10805642	164	688	2068	223,5	14,3	4,184	12	7	5	299,2	522,6

ÁGUA

AGUA												
	Tin (°C)		Tout (°C)		delta T							
LG-P-30-AL-12-7	6,86	88	83	5	143,5	4,73	4,184	12	7	5	98,95	242,5
LG-P-30AD-12-7	2,27	95	80	15	142,5	4,73	4,184	12	7	5	98,95	241,4
LG-P-80-AL-13-8	19,2	88	83	5	401,7	13,4	4,184	12	7	5	280,3	682,0
LG-P-80AD-13-8	6,222	95	80	15	390,5	13,4	4,184	12	7	5	280,3	670,8
LG-E-520VL-13-8	33,61	88	83	5	703,1	23,46	4,184	13	8	5	490,8	1193,9
LG-E-520VD-13-8	10,89	95	80	15	683,5	23,46	4,184	13	8	5	490,8	1174,2

sistema de acumulação (7°C)

energia kJ	massa kg	volume m3
53808997	1837237	1837
51792997	1768403	1768
49172197	1678920	1679

Caldeira de Recuperação

CASO 1

modelo	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hiv (kJ/kg)	Calor GE (kW)
LSH-G070	0.85566	175	885	2032.4	1738.8
LSM-G080	0.87028	164	688	2070	1801.5
VAC-E-69	1.5917	125	230	2188	3482.6
água					
	Tin (°C)	Tout (°C)	delta T		
LG-G-710	163.89	88	83	5	3428.6
LG-G-710	53.611	95	80	15	3364.6

gases de comb

Calor fornecido a caldeira kW	
1738.8	vapor 8kgf/cm2G
1801.5	vapor 6kgf/cm2G
3482.6	vapor 1.5kgf/cm2G
3428.6	água 88 °C
3364.6	água 95 °C

CASO 2

modelo	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hiv (kJ/kg)	Calor GE (kW)
LSH-G120	1.4667	175	885	2032.4	2980.9
LSM-G140	1.5228	164	688	2070	3152.2
VAC-G 11	2.6528	127	230	2188	5804.3

2980.9	vapor 8kgf/cm2G
3152.2	vapor 6kgf/cm2G
5804.3	vapor 1.5kgf/cm2G

CASO 3

principal					
modelo	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hiv (kJ/kg)	Calor GE (kW)
LSH-G070	0.9777	175	885	2032.4	1987.1
LSM-G090	0.9797	164	688	2068	2026.0
VAC-E-77	1.7111	127	247	2182.2	3734.0
água					
	Tin (°C)	Tout (°C)	delta T		
LG-G-710	170.2	88	83	5	3560.6
LG-G-710	55.27	95	80	15	3468.7

Total kW

pico+média

1987.1	vapor 8kgf/cm2G
2026.0	vapor 6kgf/cm2G
3734.0	vapor 1.5kgf/cm2G
3560.6	água 88 °C
3468.7	água 95 °C

2980.7	
3038.8	
5673.7	
5418.3	
5276.2	

secundário

GERADOR					
modelo	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hiv (kJ/kg)	Calor GE (kW)
LSH-G040	0.488893	175	885	2032.4	993.6
LSM-G045	0.489726	164	688	2068	1012.8
VAC-E-77	0.888896	127	247	2182.2	1939.7
água					
	Tin (°C)	Tout (°C)	delta T		
LG-G-370	88.8	88	83	5	1857.7
LG-G-370	28.8	95	80	15	1807.5

993.6	vapor 8kgf/cm2G
1012.8	vapor 6kgf/cm2G
1939.7	vapor 1.5kgf/cm2G
1857.7	água 88 °C
1807.5	água 95 °C

CASO 4

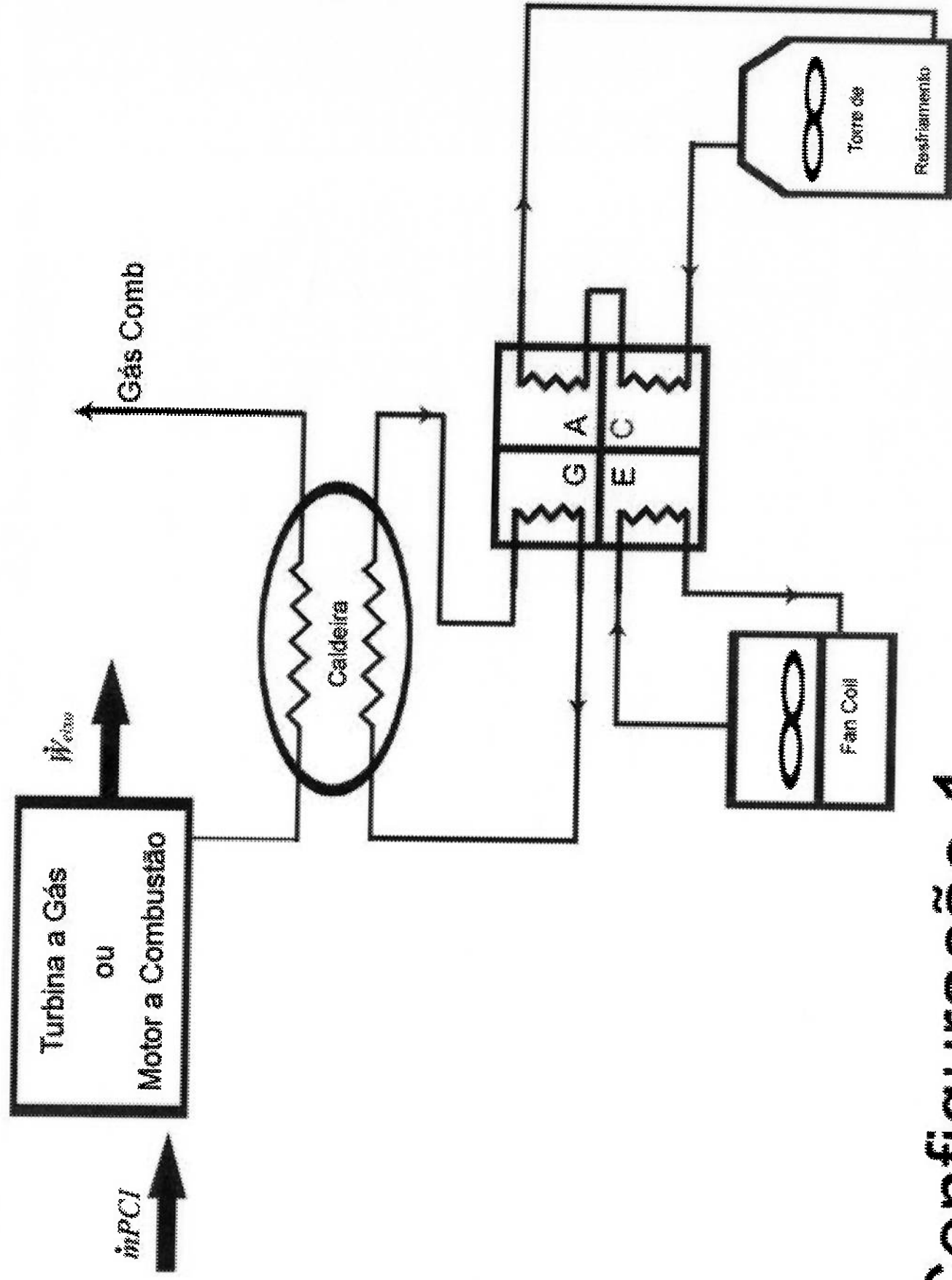
principal					
modelo	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hiv (kJ/kg)	Calor GE (kW)
LSM-G06	0.49	164	688	2068	1013.3
VAC-E-55	1.2222	127	247	2182.2	2667.1
água					
	Tin (°C)	Tout (°C)	delta T		
LG-E-520	124.7	88	83	5	2608.7
LG-E-520	40.6	95	80	15	2541.8
secundário					
GERADOR					
modelo	alimentação de vapor (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	hiv (kJ/kg)	Calor GE (kW)
LSM-G04	0.108056	164	688	2068	223.5
água					
	Tin (°C)	Tout (°C)	delta T		
LG-P-30-	6.86	88	83	5	143.5
LG-P-30A	2.27	95	80	15	142.5
LG-P-80-	19.2	88	83	5	401.7
LG-P-80A	6.222	95	80	15	390.5
LG-E-520	33.61	88	83	5	703.1
LG-E-520	10.89	95	80	15	683.5

1013.3	vapor 6kgf/cm2G
2667.1	vapor 1.5kgf/cm2G
2608.7	água 88 °C
2541.8	água 95 °C

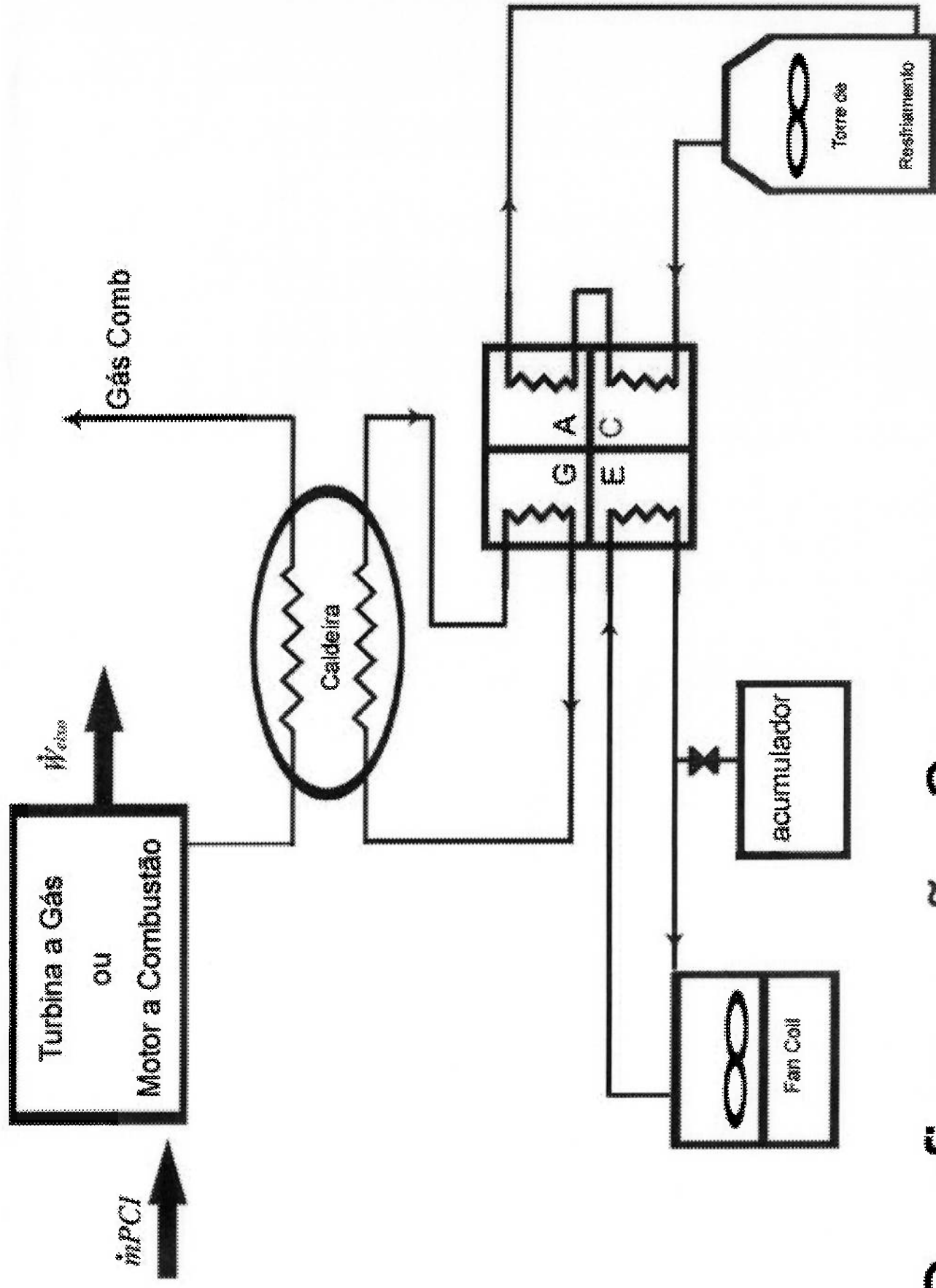
total	1236.5
-------	--------

3311.8	
3225.2	

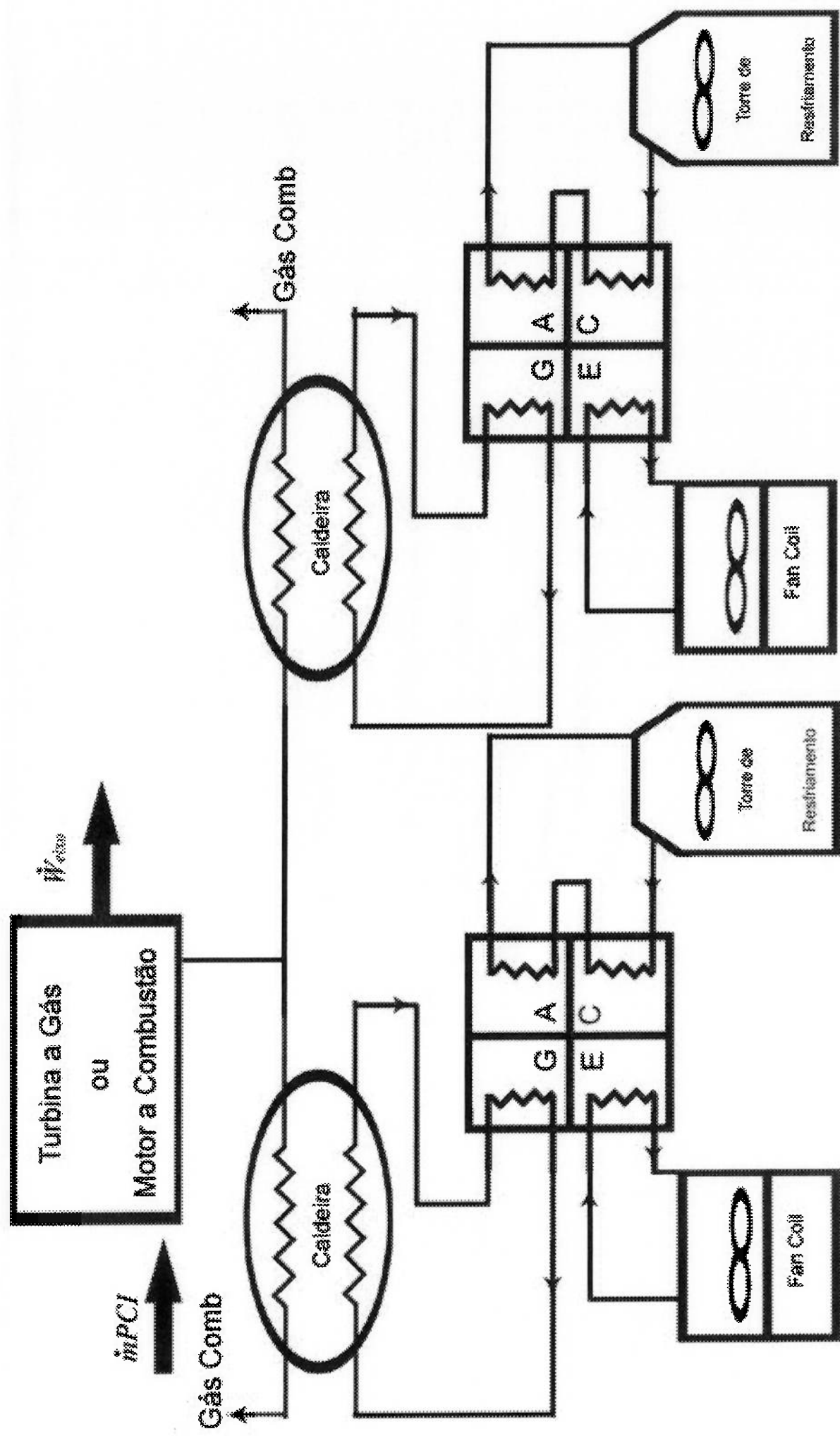
223.5	vapor 6kgf/cm2G
143.5	água 88 °C
142.5	água 95 °C
401.7	água 88 °C
390.5	água 95 °C
703.1	água 88 °C
683.5	água 95 °C



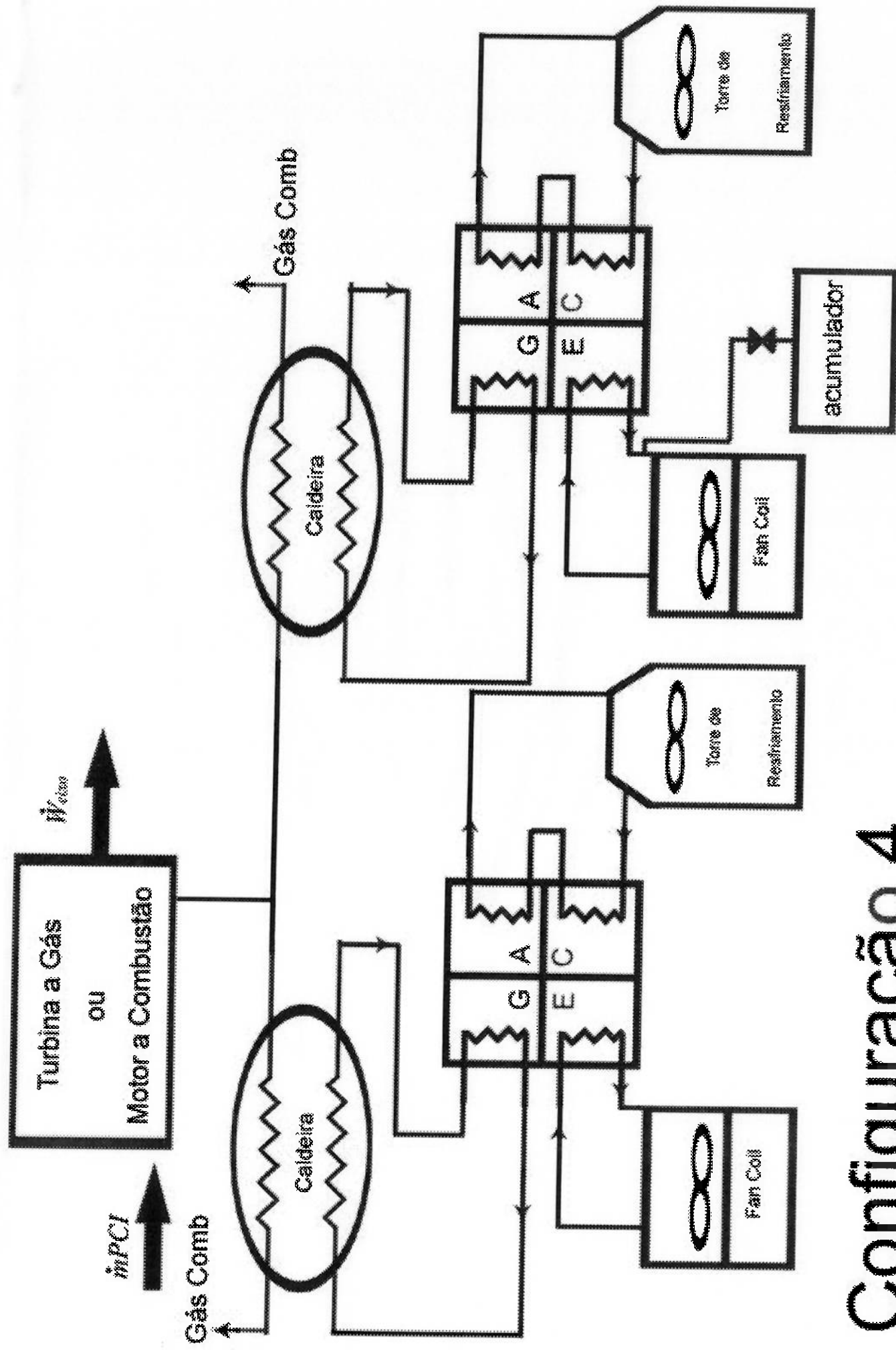
Configuração 1



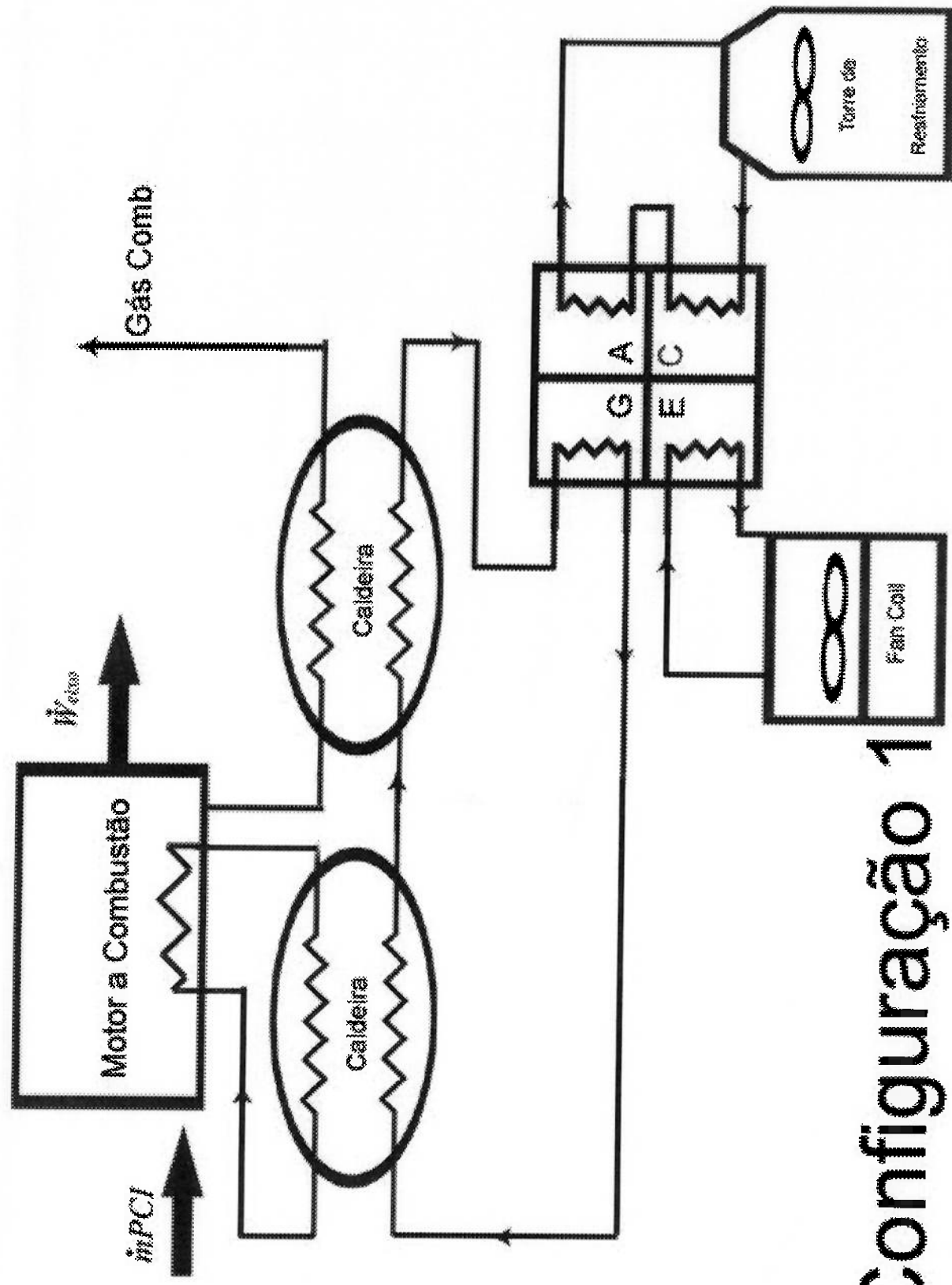
Configuração 2



Configuração 3



Configuração 4



Configuração 1

usando água da camida (motor combustão interna somente)

As outras configurações seguem esquema semelhante.

Operação e Manutenção

US\$ 1,00 = R\$ 2,90

cenário	unidade	Alternativa I Motor Caterpillar G3616 + Chiller Absorção DE + Acumulador	Alternativa II Motor Caterpillar G3616 + 2 Chillers Absorção DE	Alternativa III Turbina Gás Solar Centaur 40 + Chiller Absorção DE + Acumulador	Alternativa IV Turbina Gás Solar Centaur 40 + 2 Chillers Absorção DE	Atual (Consumo Elétrico)	Virtual (Consumo Elétrico e Ar Condicionado)
Energia Elétrica	kWh	13446048	13446048	13446048	13446048	13446048	19310097
Gás Natural							
consumo específico	kJ/kWh	9320	9320	11000	11000	0	0
PCI Gás Natural	kJ/m3	35057	35057	35057	35057	0	0
Volume	m3	3574669	3574669	4219030	4219030	0	0
Custo Combustível (Calculado)	R\$/m3	0,23	0,23	0,23	0,23	0	0
Custo Gás Natural	R\$	825434,68	825434,68	974225,48	974225,48	0	0
Custo Energia Elétrica	R\$	0	0	0	0	2433734,70	3495127,63
Pessoal							
Supervisores + Operadores + Mecânico	R\$	58490	58490	155974	155974		
Manutenção	R\$	55566	55566	148175	148175		
Encargos Salariais	R\$	114056	114056	304150	304150		
Custo Pessoal	R\$						
Manutenção							
Motor Combustão Interna	R\$	311948	311948	0	0		
Turbina a Gás	R\$	0	0	116981	116981		
Extras (10%)	R\$	31195	31195	11698	11698		
Custo Manutenção	R\$	343143	343143	128679	128679		
TOTAL/ano	R\$	1.282.633,93	1.282.633,93	1.407.053,77	1.407.053,77	2.433.734,70	3.495.127,63

Investimentos

US\$ 1,00 =	R\$ 2,90
-------------	----------

cenário	unidade	Alternativa I Motor Caterpillar G3616 + Chiller Absorção DE + Acumulador	Alternativa II Motor Caterpillar G3616 + 2 Chillers Absorção DE	Alternativa III Turbina Gás Solar Centaur 40 + Chiller Absorção DE + Acumulador	Alternativa IV Turbina Gás Solar Centaur 40 + 2 Chillers Absorção DE
---------	---------	---	--	---	--

Importados

Motor Combustão Interna	US\$	4651004	4651004	0	0
Turbina Gás	US\$	0	0	2312473	2312473
Compressor TG	US\$			200	200
Chiller de Absorção	US\$	1047635	1138831	1047635	1138831
Chiller secundário	US\$	0	733645	0	733645
Total Importados	US\$	5698638	6523480	3360308	4185150
Internalização	US\$	569864	652348	336031	418515
Total Importados	R\$	18178656	20809901	10719383	13350628

Fan-Coil & Acessórios	R\$	928000	928000	928000	928000
Dutos, Isolamentos, etc - AR	R\$	484918	484918	484918	484918
Dutos, Isol, etc - Água Gelada	R\$	90000	90000	90000	90000
Total Integração Prédios	R\$	1502918	1502918	1502918	1502918

Torres de Resfriamento	R\$	57812	79800	57812	79800
Termoacumuladores (1100 m3)	R\$	82000,00	0,00	82000,00	0,00
Interligação	R\$	13981,23	7980,00	13981,23	7980,00
Impostos	R\$	6990,61	3990,00	6990,61	3990,00
Total Equipamentos	R\$	160784	91770	160784	91770

Obras Civas	R\$	3301099	3762301	1958430	2419632
Frete	R\$	458486	522542	272004	336060
Montagem	R\$	2200733	2508201	1305620	1613088
Engenharia	R\$	733578	836067	435207	537696

TOTAL	R\$	26.536.253,81	30.033.699,39	16.354.346,14	19.851.791,72
--------------	------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Pay Back Time

cenário	Alternativa I Motor Caterpillar G3616 + Chiller Absorção DE + Acumulador				Alternativa II Motor Caterpillar G3616 + 2 Chillers Absorção DE				Alternativa III Turbina Gás Solar Centaur 40 + Chiller Absorção DE + Acumulador				Alternativa IV Turbina Gás Solar Centaur 40 + 2 Chillers Absorção DE			
	Investimento		Valor OP Anual		Valor OP Anual		"Retorno" Anual		Pay Back até depreciação 10 anos		Tempo Pay Back Extra (anos)		Tempo Total (anos)			
	R\$	25.033.335,78	R\$	1.282.633,93	R\$	28.530.781,36	R\$	14.851.428,10	R\$	1.407.053,77	R\$	18.348.873,69				
	R\$	1.282.633,93	R\$	1.282.633,93	R\$	1.282.633,93	R\$	1.407.053,77	R\$	1.407.053,77	R\$	1.407.053,77				
		Atual	2.433.734,70	Virtual	3.495.127,63	Atual	2.433.734,70	Virtual	3.495.127,63	Atual	2.433.734,70	Virtual	3.495.127,63			
	R\$	2.433.734,70	R\$	3.495.127,63	R\$	2.433.734,70	R\$	3.495.127,63	R\$	2.433.734,70	R\$	3.495.127,63	R\$	3.495.127,63		
	R\$	1.151.100,78	R\$	2.212.493,70	R\$	1.151.100,78	R\$	2.212.493,70	R\$	1.026.680,94	R\$	1.026.680,94	R\$	2.088.073,86		
	R\$	14.014.341,34	R\$	24.628.270,60	R\$	14.364.085,89	R\$	24.978.015,16	R\$	11.751.952,19	R\$	22.365.881,46	R\$	12.101.696,75		
		9,6		0,2		12,3		1,6		3,0		-3,6		6,1		
		20		11		23		12		13		7		16		
														-2,1		
														8		