

ARI FERREIRA DE ABREU

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO INTERMITENTE:
CONCEPÇÃO, DIMENSIONAMENTO, CONSTRUÇÃO, ENSAIO E
CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Tese apresentada ao Programa
Interunidades de Pós-graduação
em Energia para a obtenção do
título de Doutor em Energia.

São Paulo
1999

À

Yumi

Pelo Amor e dedicação

Agradecimentos

Ao Sr. Kasuyoshi Matsukuma pela habilidade artesanal sem a qual seria impossível a construção dos dois protótipos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento do projeto.

À meus familiares, que apesar de todas as dificuldades, possibilitaram minha formação.

À Impac pelo apoio no desenvolvimento do software de controle.

Aos Professores que acreditaram e “vestiram a camisa” do projeto: Roberto Yoshiuti Hukai (Orientador), Silvio de Oliveira Júnior, Prof. Adney (diretor da Divisão de Energia do IEE na ocasião do início de projeto), Prof. Américo (diretor do IEE da implantação do projeto) e ao Prof. David (Coordenador do PIPGE na época em que ingressei no doutorado).

Ao apoio dos colegas e professores do PIPGE/USP e do curso de Graduação em Ciências Contábeis da FEA/USP.

Como tudo na vida tem um lado bom, agradeço também às pessoas que desdenharam e duvidaram do projeto, pois sua colaboração foi muito importante.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	01
1 - OS FATORES MOTIVADORES	02
1.1 - Tecnologias Disponíveis	02
1.1.1 - Sistemas de refrigeração a vapor	02
1.1.1.1 - Refrigeração por compressão	03
1.1.1.2 - Sistemas de refrigeração por absorção	04
1.1.1.2.1 - Sistemas intermitentes	06
1.1.1.2.2 - Sistemas industriais por absorção	07
1.1.1.2.3 - Sistema Electrolux	09
1.1.2 - Evolução histórica dos sistemas de refrigeração	11
1.1.3 - Segmentação de mercado de sistemas por absorção	14
1.2 - Objetivos da Tese	15
1.3. - Metodologia	16
2 - O PROJETO CONCEITUAL DO SISTEMA MECÂNICO	18
2.1 - Conceituação	18
2.1.1 - Sistema com um gerador-absorvedor	18
2.1.2 - Sistema com dois geradores-absorvedores	20
2.2 - Cálculos Termodinâmicos do Sistema	23
2.2.1 - Cálculo de massa e concentração da solução	24
2.2.2 - Cálculo de trocas de calor	25
2.3 - Dimensionamento dos Trocadores de Calor	28
2.3.1 - Condensador	28
2.3.1.1 - Cálculo do coeficiente de Película na face interna da tubulação	29
2.3.1.2 - Cálculo do coeficiente de película na face externa da tubulação	29
2.3.1.3 - Dimensionamento do condensador	29
2.3.2 - Evaporador	30
2.3.2.1 - Cálculo do coeficiente de película na face interna da tubulação	31

2.3.2.2	- Cálculo do coeficiente de película na face externa da tubulação	31
2.3.2.3	- Dimensionamento do evaporador	32
2.4	- Comparação do Sistema Proposto com o Convencional	33
2.5	- Análise de Sensibilidade à Variação de Parâmetros	35
2.5.1	- Variação da temperatura de condensação	35
2.5.2	- Potência frigorífica	36
2.5.3	- Duração da fase de refrigeração	36
2.5.4	- Concentração da solução rica	37
2.5.5	- Temperatura máxima de geração	37
2.5.6	- Temperatura de evaporação	38
2.5.7	- Temperatura da água	38
2.5.8	- Variação de temperatura da água nos trocadores de calor	38
2.5.9	- Variação do diâmetro da serpentina	39
2.5.10	- Diâmetro do casco	39
2.6	- Valores Adotados e Resultados Esperados	39
2.6.1	- Valores adotados no projeto	39
2.6.2	- Dimensões do equipamento	40
2.6.3	- Resultados esperados	41
2.7	- Ensaio e Análise de Resultados	42
2.7.1	- Verificação dos valores calculados pelo programa de dimensionamento	42
3	- CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS	44
3.1	- Construção do Primeiro Protótipo	44
3.1.1	- O condensador	46
3.1.2	- O evaporador	46
3.1.3	- Gerador-absorvedor	47
3.1.4	- Válvulas	48
3.1.5	- Roscas	48
3.1.6	- Aquecimento	48
3.1.7	- Solução aquosa de amônia	49
3.2	- Operação do Primeiro Protótipo	49
3.2.1	- Aquecimento e resfriamento do gerador-absorvedor	49
3.2.2	- Refrigeração da carga	50

3.3	- Fenômenos Observados	50
3.3.1	- Curva característica do par refrigerante-absorvente	51
3.3.2	- Variação da massa específica da solução em função da concentração	52
3.3.3	- Fluxo descendente do refrigerante no evaporador	53
3.4	- Construção do Segundo Protótipo	53
3.4.1	- O condensador e o evaporador	54
3.4.2	- Gerador-absorvedor	54
3.4.3	- Retificador	56
3.4.4	- Válvulas	57
3.4.5	- Aquecimento	59
3.4.7	- Solução aquosa de amônia	59
3.4.8	- Circulação de água no condensador	59
3.4.9	- Circulação de água no evaporador	60
3.4.10	- Circulação de água no gerador-absorvedor	63
3.5	- Sistema de Controle e Aquisição de Dados	63
3.5.1	- Sistema de aquisição de dados	63
3.5.2	- Sistema de controle – Ligações elétricas do sistema	66
3.5.3	- Sistema de controle – Programa	67
3.6	- Fenômenos Observados na Operação do Segundo Protótipo	68
3.6.1	- Inundação do evaporador	68
3.6.2	- Condensação de água	69
4	- RESULTADOS DA MEDIÇÕES	70
4.1	- Sistema de Aquisição de dados	70
4.1.1	- Primeiro protótipo	70
4.1.2	- Segundo protótipo	70
4.1.2.1	- Dados referentes à temperatura	70
4.1.2.2	- Dados referente à pressão	71
4.1.2.3	- Avaliação da potência de aquecimento	72
4.1.2.4	- Programa para aquisição de dados	72
4.2	- Dados Adquiridos	73
4.3	- Etapas do Aquecimento do Gerador-absorvedor	76
4.4	- Fase de Refrigeração da Carga	77

4.5	- Verificação dos Resultados Esperados	83
5	- ANÁLISE DE DADOS E CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS	86
5.1	- Consumo de energia	86
5.1.1	- Eficiência dos sistemas de refrigeração baseada no Coeficiente de Performance	86
5.1.2	- Comparação da eficiência global de refrigeradores domésticos	87
5.1.3	- Eficiência do equipamento proposto	89
5.2	- Custo do equipamento	90
5.2.1	- Custo do protótipo	90
5.2.2	- Análise comparativa de custos	91
5.3	- Potencial de Emprego do Sistema	92
5.3.1	- Aplicações possíveis	93
6	- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	100
6.1	- Conclusões	100
6.1.1	- Quanto às aplicações	100
6.1.2	- Quanto ao sistema	100
6.1.3	- Quanto à confecção dos protótipos	101
6.2	- Recomendações	101
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	ANEXO A - PROGRAMA DE DIMENSIONAMENTO	106
	ANEXO B – PROGRAMA DE CONTROLE	116
	ANEXO C – OPERAÇÃO DO PROTÓTIPO	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Diagrama P-h de um ciclo de refrigeração	03
Figura 1.2 - Sistema de refrigeração por compressão	04
Figura 1.3 - Experimento de Faraday	07
Figura 1.4 - Sistema de refrigeração industrial por absorção	08
Figura 1.5 - Platz e Baltzar ao lado de seu protótipo do ciclo Electrolux	09
Figura 1.6 - Sistema ELECTROLUX de refrigeração por absorção	11
Figura 2.1 - Sistema de retenção com gerador único	19
Figura 2.2 - Operação do sistema com um único gerador	20
Figura 2.3 - Sistema de retenção de vapor com geradores múltiplos	21
Figura 2.4 - Seqüência de operação das válvulas de um sistema com dois geradores-absorvedores	22
Figura 2.5 - Trocas de calor na geração de vapor	25
Figura 2.6 -Foto do condensador	28
Figura 2.7 - Evaporador	31
Figura 2.8 - Sistema de refrigeração por absorção tradicional	33
Figura 2.9 - Gráfico Entalpia x Concentração	34
Figura 3.1 - Primeiro protótipo	44
Figura 3.2 - Detalhe do condensador do primeiro protótipo	45
Figura 3.3 - Detalhe da tubulação do evaporador do primeiro protótipo	46
Figura 3.4 - Gerador-absorvedor	47
Figura 3.5 - Gráfico da pressão em função da temperatura durante o aquecimento da solução	51
Figura 3.6 - Gerador-absorvedor (segundo protótipo)	55

Figura 3.7 - Foto dos retificadores	56
Figura 3.8 - Vista do sistema de válvulas solenóide	57
Figura 3.9 - Vista do sistema de válvulas solenóide	58
Figura 3.10 - Vista do sistema com válvulas de esfera	59
Figura 3.11 - Esquema dos circuitos de circulação de água pelo condensador	60
Figura 3.12 - Esquema dos circuitos de circulação de água pelo evaporador	61
Figura 3.13 - variação da diferença de temperatura da água do evaporador e o ambiente em função do tempo	62
Figura 3.14 - Troca de calor em função da diferença entre a temperatura da água do evaporador e o ambiente	62
Figura 3.15 - esquema de ligação dos relés	66
Figura 3.16 - Painel de controle do equipamento	68
Figura 4.1 - Pressões e temperaturas verificadas na fase de geração de vapor	73
Figura 4.2 - Croqui do gerador-absorvedor com carenagem	74
Figura 4.3 - Comparação das pressões e temperaturas verificadas com as previstas para concentrações de 12%, 15%, 22% e 27%.	75
Figura 4.4 - Diferença de temperatura durante a refrigeração da carga	79
Figura 4.5 - Pressões durante a refrigeração da carga	80
Figura 4.6 - Potência trocada no evaporador	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Pares refrigerante absorvente	05
Tabela 1.2 - Fatos históricos associados à refrigeração por absorção	12
Tabela 3.1 - Massa específica em função da concentração da solução de água-amônia	53
Tabela 3.2 - Pontos monitorados do sistema	64
Tabela 3.3 - Relação dos bloqueios elétricos existentes no sistema	67
Tabela 4.1 - Comparação de valores previstos e medidos	84
Tabela 5.1 - Custos do segundo protótipo	51
Tabela 5.2 – Comparação das características construtivas de sistemas frigoríficos	52
Tabela 5.3 – Consumo de equipamento de condicionamento de ar de alguns tipos de veículos	96
Tabela 5.4 – Consumo de alguns modelos de equipamentos de frigorificação de cargas	97
Tabela 5.5 – Comparação dos custos operacionais do sistema proposto e dos sistemas usuais	97

LISTA DE VARIÁVEIS EMPREGADAS

A = Área do trocador de calor (condensador ou evaporador) [m²]

c = Calor específico da água [kJ/kg °C]

C = Constante (para tubos horizontais 0,725)

C.O.P. = Coeficiente de performance.

DC = Duração do ciclo [min].

Dext = Diâmetro externo do tubo. [m]

Dint = Diâmetro interno do tubo. [m]

g = Aceleração da gravidade em [m/h²]

Gmax = Fluxo de massa por unidade de área [kg/m · h].

hei = Entalpia específica do vapor no início da evaporação ou final da condensação [kJ/kg].

heo = Entalpia específica do vapor no final da evaporação [kJ/kg].

$h_{extecond}$ = Coeficiente de filme da face interna do condensador [W/m²·°C].

$h_{extevap}$ = Coeficiente de filme da face interna do evaporador [W/m²·°C].

$h_{intcond}$ = Coeficiente de filme da face interna do condensador [W/m²·°C].

$h_{intevap}$ = Coeficiente de filme da face interna do evaporador [W/m²·°C].

hs₀ = Entalpia específica da solução aquosa ao final da etapa de geração de vapor (pressão alta e concentração da solução pobre) [kJ/kg].

hsfrac = Entalpia específica da solução fraca. [kJ/kg].

hvnh₃ = Entalpia específica de evaporação do vapor de amônia, não retificado, que deixa o gerador-absorvedor [kJ/kg].

$h_{vnh_{3puro}}$ = Entalpia específica de evaporação da amônia retificada que entra no condensador[kJ/kg]

K = Condutividade térmica [W/m°C]

K_{car} = Coeficiente de transferência de calor da carenagem do gerador de vapor.

K_l = Condutividade térmica do líquido [W/m°C].

K_{tubo} = Condutividade térmica do material do tubo [W/m.°C].

l = Comprimento da serpentina [m]

L = Diâmetro do tubo [m]

m = Massa de água no evaporador [kg]

M_{ger} = Massa de solução rica necessária ou massa total no gerador-absorvedor [kg].

M_{nh_3} = Massa de amônia condensada em cada ciclo de operação [kg].

M_{frac} = Massa de solução franca que retorna ao gerador [kg]

N_{pr} = Número de Pr

P_{tevap} = potência de evaporação [W].

PF = Potência frigorífica [W].

PQ = Potência do aquecedor.

P_{resist} = Potência fornecida pelo resistor [W]

Q = Potência ou taxa de calor trocado no condensador ou evaporador [W]

Q_{evap} = Calor fornecido ao evaporador ou retirado da carga térmica [kJ].

Q_g = Calor total da fase de aquecimento [kJ].

Q_1 = Calor para aquecimento nas etapas de pré-aquecimento e elevação de pressão [kJ].

Q_2 = Calor para aquecimento na etapa de geração de vapor [kJ].

Q_3 = Calor cedido na condensação da amônia [kJ].

- taquec = Período de aquecimento [s].
- tevap = Duração da fase de evaporação [s].
- Tic = Temperatura da água que entra no condensador [°C].
- Tie = Temperatura da água que entra no evaporador [°C].
- Tsc = Temperatura da água que sai do condensador [°C].
- Tse = Temperatura da água que sai do evaporador [°C].
- u_1 = Energia interna da solução aquosa no estado inicial [kJ/kg].
- u_2 = Energia interna da solução aquosa no final da elevação de pressão e início da condensação (pressão alta e concentração da solução rica) [kJ/kg].
- u_2 = Energia interna da solução aquosa no final do processo de aquecimento (pressão alta e concentração da solução pobre) [kJ/kg].
- u_{cond} = Energia interna da amônia condensada à alta pressão [kJ/kg].
- U = Coeficiente global de transferência de calor [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{°C}$].
- Uc = Coeficiente global de transferência de calor para o condensador, corrigido para tubulação helicoidal [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{°C}$].
- Ue = Coeficiente global de transferência de calor para o evaporador, corrigido para tubulação helicoidal [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{°C}$].
- X = Título do vapor [%].
- Xrico = Concentração de amônia na solução rica [%].
- Xpobre = Concentração de amônia na solução pobre [%].
- ΔT = Diferença de temperaturas [°C]
- $\Delta T_{\text{água}}$ = Variação da temperatura da massa de água contida no evaporador [°C].

ΔT_{ev} = Diferença entre a temperatura de evaporação e a temperatura média da água em aquecimento [°C]

ΔT_{cd} = Diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura média da água de resfriamento [°C]

λ = Entalpia específica de vaporização [J/kg], ρ = Massa específica [kg/m³]

ρ_l = Densidade do líquido [kg/m³].

ρ_v = Densidade do vapor [kg/m³].

μ = Viscosidade [kg/mh].

Resumo.

Neste trabalho é descrita a tecnologia existente para refrigeração e proposto um sistema que opera usando o calor como energético. Nesse equipamento São introduzidas melhorias aos sistemas de funcionamento intermitente de forma a possibilitar um funcionamento contínuo. No equipamento proposto a elevação de pressão realizada por aquecimento, dispensando o uso de bombas e compressores. Essa modificação permite a substituição da bomba por um sistema de válvulas com custo possivelmente menor.

É descrita a metodologia de dimensionamento e o programa de computador criado para esse fim. Também é relatada a construção e o ensaio de dois protótipos construídos para avaliar o sistema proposto. Os resultados obtidos foram analisados e em vista deles foram estudadas algumas possibilidades de aplicação. Também são feitas considerações sobre alguns fenômenos observados durante os testes dos protótipos.

Abstract

In this work the existent refrigeration technology is described and proposed a system that operates using the heat as energy. In that equipment are introduced improvements to the systems of intermittent operation in way to facilitate a continuous operation. In the proposed equipment the pressure elevation accomplished by heating, releasing the use of bombs and compressors. That modification allows the substitution of the bomb for a system of valves with cost possibly smaller.

It is described the methodology for design and the software for that end. It is also told the construction and the operation of two prototypes built to evaluate the proposed system. The obtained results was analyzed and in view of them they went you study some application possibilities. They are also made considerations on some phenomenons observed during the tests of the prototypes.

APRESENTAÇÃO.

Nesta tese é feita a análise dos sistemas de refrigeração mais usados, principalmente os baseados no fenômeno da absorção. Foi proposto, construído e ensaiado um equipamento de refrigeração por absorção de funcionamento intermitente no qual a pressão é elevada unicamente por aquecimento e o refrigerante direcionado por meio de um sistema de válvulas.

São descritas as experiências com dois protótipos do sistema. O primeiro protótipo possui o fluxo de refrigerante controlado por válvulas manuais, aquecimento por meio da queima de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), trocadores de calor que trocam calor com o ar sendo as medições de grandezas térmicas feitas por meio de termômetro de mercúrio e bimetálicos e medidores de pressão de membrana. Dessa forma o primeiro protótipo foi usado, basicamente, para verificações iniciais dos fenômenos envolvidos no funcionamento do sistema.

O segundo protótipo foi construído com a finalidade de verificar quantitativamente os fenômenos envolvidos. Para tanto o equipamento recebeu uma série de melhorias para permitir a aquisição de dados relativos à operação do sistema.

Foi feita uma análise do potencial econômico, considerando o custo do equipamento e estudando a aplicação do sistema operando em conjunto com motores de combustão interna. É apresentada também uma análise comparativa considerando os sistemas de refrigeração por absorção convencionais.

1- MOTIVAÇÃO.

1.1 - Tecnologias Disponíveis.

A maioria dos equipamentos de refrigeração usados atualmente baseia-se nos ciclos de refrigeração a vapor, que são divididos em dois grupos principais, por compressão e absorção .

1.1.1 - Sistemas de refrigeração a vapor.

Os sistemas de refrigeração a vapor baseiam-se na expansão de um fluido durante a mudança da fase líquida para a fase vapor. Um líquido comprimido a alta pressão, ponto 2 da figura 1.1, ao ter a sua pressão reduzida, durante sua passagem por uma válvula de expansão, expande-se isoentalpicamente até atingir o ponto 3 da figura 1.1 como líquido a baixa pressão. A partir desse ponto o fluido vaporiza-se, em um trocador de calor denominado evaporador, atingindo o ponto 4 da figura 1.1 como vapor em baixa pressão. Na evaporação ocorre um aumento da entalpia do fluido às custas da adição de energia retirada na forma de calor do meio a resfriar.

Uma das poucas aplicações desse processo isoladamente foi relatada no manual da ASRE (1950). Alguns caminhões frigoríficos usavam tanques de amônia na forma líquida a qual se expandia refrigerando a carga. Essa amônia era absorvida por afinidade química em tanques com água, sendo recuperada posteriormente na garagem.

Apesar de ser pouco empregado comercialmente para refrigeração, por ser de natureza intermitente, a expansão do vapor é a base dos demais ciclos de refrigeração.

Para que exista um ciclo, ou seja o reaproveitamento do fluido refrigerante com o retorno do mesmo ao estado correspondente ao ponto 2 da figura 1.1, é necessária a elevação de pressão do vapor do fluido e sua liquefação. A liquefação, correspondente ao trecho 1-2 da figura 1.1, é feita por condensação e conseqüente rejeição de calor ao meio em um permutador de calor denominado condensador.

A diferença entre os sistemas de refrigeração por compressão e absorção está na forma de elevar a pressão, conforme o trecho 4-1 da figura 1.1.

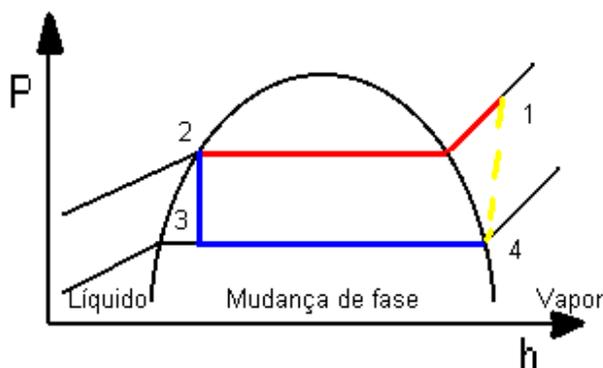


Figura 1.1 - Diagrama P-h de um ciclo de refrigeração.

1.1.1.1 - Refrigeração por compressão.

Nesse tipo de sistema a elevação da pressão do vapor de fluido refrigerante é proporcionada por compressão mecânica, geralmente por compressores centrífugos ou a pistão. Como a massa específica do gás é baixa, a quantidade de trabalho para

comprimi-lo é significativamente maior que a necessária para comprimir um líquido. A figura 1.2 ilustra os componentes de um sistema de refrigeração por compressão.

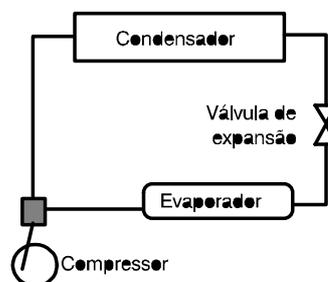


Figura 1.2 - Sistema de refrigeração por compressão.

1.1.1.2 - Sistemas de refrigeração por absorção.

Nesses sistemas a elevação da pressão do vapor oriundo do evaporador e destinado ao condensador é realizada com o auxílio do fenômeno da absorção, devido ao qual o fluido refrigerante absorvido por um absorvente transformado-se em uma mistura na fase líquida.

Isso se deve ao fato de alguns fluidos refrigerantes terem grande afinidade química com absorventes, com os quais se misturam formando uma solução na fase líquida. Existem vários pares de refrigerante e absorvente, alguns dos quais relacionados na tabela 1.1, sendo os mais usados a amônia e água, água e brometo de lítio. Neste estudo o fluido refrigerante será a amônia e o absorvente a água.

Tabela 1.1 – Pares refrigerante absorvente.

Absorvente	Refrigerante
Água	Amônia, Metil amina ou outras aminas alifáticas
Solução de água e brometo de lítio	Água
Solução cloreto de lítio e metanol	Metanol
Ácido Sulfúrico	Água
Hidróxido de sódio ou potássio ou misturas	Água
Nitrato de lítio	Amônia
Sulfocianeto de amônia	Amônia
Tetracloroetano	Cloreto de etila
Dimetil eter tetraetileno glicol	Cloreto de metileno
Óleo de parafina	Tolueno ou pentano
Glicol etílico	Metil amina
Éter dimetílico ou glicol tetraetílico	Monofluor dicloro metano ou diclorometano

Fonte Pohlman (1979); Sresnewsky (1983)

Após a absorção do fluido refrigerante a solução formada pode ter sua pressão elevada, com baixo consumo de energia por causa do alto volume específico dos líquidos. Posteriormente, no caso da solução de água e amônia, o vapor é separado, por meio de destilação, e a solução restante, pobre em fluido refrigerante, é restituída ao absorvedor.

Com ampla aplicação no século XIX e início do século XX, as máquinas de refrigeração por absorção foram construídas em diversas configurações. Sem mencionar detalhes construtivos, como trocadores de calor auxiliares, mecanismos de automação, uso de duplo estágio e outros, os principais sistemas foram:

1 - Sistemas Intermitentes.

2 - Sistema Electrolux.

3 - Sistemas industriais.

1.1.1.2.1 - Sistemas Intermitentes.

Segundo Cortez (1998), o primeiro sistema de refrigeração intermitente foi construído em 1810 por Sir John Leslie usando o par água-ácido sulfúrico. O equipamento era constituído por dois reservatórios interligados e evacuados, sendo que a água contida em um dos reservatórios absorvia o ácido sulfúrico contido no outro.

Segundo Torreira (1979), em 1824, um ano após Carré patentear sua primeira máquina de refrigeração por absorção, Faraday fez experimentos para liquefazer alguns gases, dentre eles a amônia, que até aquele momento acreditava-se só existirem na fase gasosa. Ele expôs cloreto de prata ao gás amônia e colocou essa mistura em um destilador (figura 1.3). O destilador de Faraday era constituído de duas esferas de vidro interligadas por um tubo formando um sistema isolado da atmosfera. O gás de amônia desprende-se da solução contida na primeira esfera, condensou-se, depositando-se na segunda esfera na fase líquida. Ao interromper o aquecimento a amônia líquida evaporou, sendo reabsorvida pelo cloreto de prata. A energia necessária para a evaporação da amônia foi retirada do recipiente no qual estava a amônia pura na

fase líquida o qual se resfriou, para a surpresa de Faraday. Fenômeno semelhante ocorre com soluções de água e amônia.

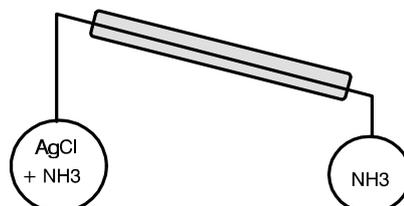


Figura 1.3 - Experimento de Faraday.

Foram construídos vários sistemas de refrigeração para aplicação doméstica baseados na experiência de Faraday, tais como: “Icy-ball” (Crosley Corp.), “Superflex” (Perfection Stove), “Trukold” (Montgomery Ward) todos fabricados nos E.U.A. por volta de 1930, segundo Torreira, (1979). Esses refrigeradores eram similares ao experimento de Faraday e necessitavam ter seu sistema de refrigeração aquecido por aproximadamente uma hora ao dia, período durante o qual o conjunto era removido do gabinete do gabinete do refrigerador.

O relato mais recente sobre sistemas de refrigeração por absorção intermitentes foi encontrado no manual da ASRE (1950) o qual relata a existência de caminhões frigoríficos equipados com tal sistema, conforme mencionado no item 2.1.

1.1.1.2.2 - Sistemas industriais por absorção.

Esses sistemas possuem condensador, válvula de expansão e evaporador como nos sistemas por compressão, mas a elevação da pressão é feita por meio de uma

bomba que comprime uma solução de fluido refrigerante e absorvente na fase líquida, consumindo, relativamente aos sistemas por compressão, pouca energia mecânica.

Conforme ilustra a figura 1.4, o vapor de fluido refrigerante a baixa pressão vindo do evaporador é exposto à solução com baixa concentração de refrigerante, ou solução pobre, pela qual é absorvido criando a solução com alta concentração de refrigerante denominada solução rica. A solução rica tem sua pressão elevada por bombeamento consumindo aproximadamente 2% da energia mecânica necessária ao acionamento de um sistema por compressão equivalente. A solução rica é destilada de forma a separar o vapor de fluido refrigerante da solução que se torna pobre e mantém-se a alta pressão. A solução pobre retorna ao absorvedor por meio de uma válvula redutora de pressão e o vapor de refrigerante passa por um trocador de calor, denominado retificador, no qual é retirado o absorvente eventualmente contido no vapor de refrigerante. Posteriormente o vapor de refrigerante a alta pressão, isento de absorvente, é encaminhado ao condensador, como em um sistema por compressão.

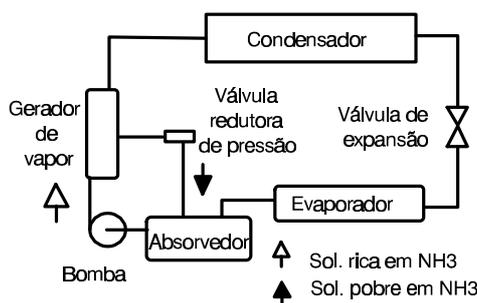


Figura 1.4 - Sistema de refrigeração industrial por absorção.

1.1.1.2.3 - Sistema Electrolux.

Em 1922 dois estudantes de engenharia suecos, Baltzar Von Platem e Carl Gustav Munters, patentearam uma máquina de refrigeração de funcionamento contínuo, baixo custo, a qual foi tema de um trabalho de conclusão de curso e está ilustrada na figura 1.5 ao lado de seus inventores. Tal equipamento produzido inicialmente por seus criadores teve sua patente adquirida pela Electrolux, que a usou para projetar-se definitivamente no mercado de eletrodomésticos.

O sistema, cujo esquema é ilustrado na figura 1.6, é o mais popular de todos os sistemas de refrigeração por absorção, por causa de seu uso em refrigeradores domésticos. Seu funcionamento é baseado na lei das pressões parciais ou Lei de Dalton, segundo a qual em um recipiente contendo mais de um gás a pressão total é a soma da pressão parcial de cada gás.

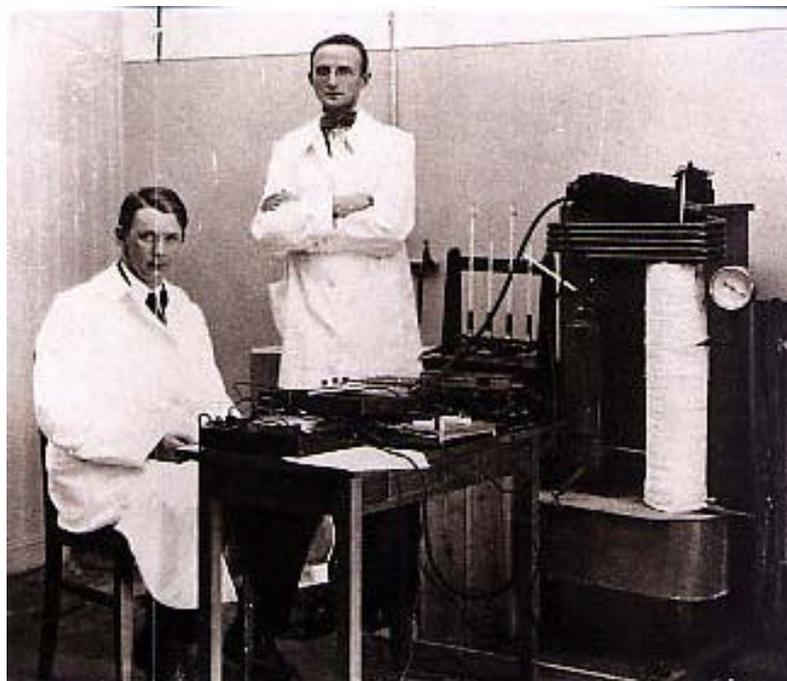


Figura 1.5 - Platz e Baltzar ao lado de seu protótipo do ciclo Electrolux.

No sistema Electrolux são empregados 3 fluidos: um refrigerante, geralmente amônia; um absorvente, geralmente água e um gás inerte, geralmente hidrogênio. Existem 3 fluxos de fluidos: Fluxo de vapor, fluxo de soluções de água e amônia e fluxo de gás inerte conforme ilustra a figura 1.6.

No fluxo de vapor uma solução com alta concentração de amônia, ou solução rica, é aquecida liberando vapor de amônia o qual é retificado. A retificação é feita em um tubo ascendente e sinuoso no qual a água contida no vapor condensa-se e retorna ao gerador de vapor. Após a retificação o vapor de amônia é tornado líquido em um condensador. No condensador e retificador do sistema Electrolux existe somente amônia, ou seja a pressão da amônia é igual à pressão do sistema. O vapor de amônia não passa por uma válvula de expansão, mas sim por um sifão que impede o fluxo de gás inerte, existente no evaporador, para o condensador. Evaporando a partir desse sifão o refrigerante expande-se no evaporador, no qual existe um gás inerte, geralmente hidrogênio. Dessa forma a pressão da amônia no evaporador será dada pela diferença entre a pressão total e a pressão parcial do gás inerte. Saindo do evaporador a amônia é absorvida por uma solução pobre em amônia, ainda a baixa pressão parcial formando a solução rica.

O fluxo de soluções água-amônia é movimentado por um termosifão. A solução rica em amônia vinda do absorvedor, a qual se encontra em temperatura próxima à ambiente, chega ao gerador passando por um trocador de calor em contrafluxo com uma solução com baixa concentração de amônia, ou solução pobre, aquecida, que retorna do gerador. Nesse trocador de calor a solução rica é pré aquecida e a solução pobre é pré resfriada. No gerador a solução rica é aquecida em um tubo

capilar no qual o vapor é gerado. A solução pobre, formada no gerador, sobe arrastada pelas bolhas de vapor de amônia até um nível mais elevado que o topo do absorvedor. O retorno da solução pobre ao absorvedor é feito por gravidade, passando pelo trocador acima citado, para ser pré resfriada, enquanto o vapor separado no gerador segue a trajetória descrita para o primeiro fluxo.

O fluxo de gás inerte circula apenas no absorvedor e evaporador, únicos componentes que operam com baixa pressão parcial. No evaporador, no qual há fluxo descendente, o gás inerte desce em razão do aumento de sua densidade devido ao resfriamento. Chegando ao absorvedor o gás inerte é aquecido pelo processo exotérmico de absorção e sobe novamente ao topo do evaporador.

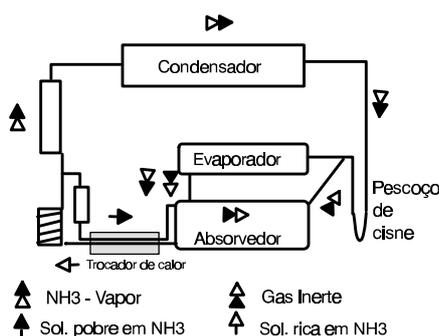


Figura 1.6 - Sistema Electrolux de refrigeração por absorção.

1.1.2 - Evolução histórica dos sistemas de refrigeração.

O histórico dos sistemas de refrigeração é brevemente relatado na tabela 1.2.

Tabela 1.2: Fatos históricos associados a refrigeração.

Ano	Autor	Histórico	Objetivos
1777	Nairme	Estudos teóricos	
1810	Sir John Leslie	Refrigeração intermitente (Par água e ácido Sulfúrico)	-
1823	Carré, Ferdinand	Primeira máquina construída e patenteada	- Aplicação: Fabricação de gelo pelos sulistas na Guerra Civil Americana. - Fabricação em grande escala na França, Inglaterra e Alemanha
1824	Faraday	Refrigeração intermitente com amônia e cloreto de prata	
1834	Jakab Perkins	Primeira máquina por compressão	
1859/62	Carré, F.	14 patentes sobre o par água-amônia	
1880	Linde, Carl (EUA)	Substituição de Absorção por compressão	- Aplicação em cervejaria que passaram a consumir menos vapor
1899	Geppert (EUA)	- Patente do uso de gás inerte e pressão parcial em refrigeradores por absorção	- O sistema montado pelo autor usava ar como gás inerte e não funcionou pois o ar por ter maior massa molecular que amônia impedia a circulação natural
1920/40	Altenkirch	Estudos sobre redução de perdas exergéticas	- Introdução do retificador, múltiplos estágios, uso de gás inerte, uso de refluxo no gerador e absorvedor e demonstração da eficiência dos ciclos de resorção.
1920/30			- Fabricação vários modelos de máquinas intermitentes - “Icy-ball” (Crosley Corp.), “Superflex” (Perfection Stove), “Trukold” (Montgomery Ward)
1922	Platen e Munters	Refrigerador doméstico	- Trabalho de formatura no Royal Institute of Technology de Estocolmo
1925	ELECTROLUX	Refrigerador doméstico	- Patente comprada de Platen e Munters
1929	Merkel & Bosnjakovic	Diagrama Entalpia X Concentração	
1930	Du Pont	Criação do freon	
1938	Niebergall	Métodos de avaliação	
Década 1940	Tecunseh	Compressor hermético de baixo custo para R12	
Década de 197-			Choque do petróleo Unidades para cogeração (Água-amônia e Brometo de lítio – água)

Fonte: Elaborado a partir de Torreira (1979), Cortez (1998)

Apesar do primeiro sistema de refrigeração por compressão ter sido desenvolvido em 1834 por Jakob Perkins, apenas uma década após o início da

comercialização da máquina de refrigeração por absorção de Carré, esse sistema somente passou a dominar o mercado na década de 1930. Essa demora se deveu aos seguintes fatores:

- Alto custo da energia mecânica e elétrica.
- Elevado nível de ruído.
- Motores grandes, pesados e caros. Lembrando que até o início do século os motores elétricos eram isolados por meio de tecido.

Por volta de 1880, Carl Linde substituiu máquinas por absorção por máquinas de compressão em cervejarias que haviam modificado seus processos de fabricação, reduzindo a quantidade de vapor rejeitado. Mas após 1930 os sistemas de refrigeração por compressão passaram a dominar o mercado devido a:

- Invenção dos CFCs (Cloro-Fluor-Carbono). Os CFCs, usados como fluido refrigerante em máquinas por compressão não podiam ser usados em máquinas por absorção por não terem afinidade química com outras substâncias, apresentavam a vantagem de serem atóxicos, não inflamáveis e menos corrosivos que os refrigerantes até então empregados, como amônia, butano, e outros. Naquela época desconhecia-se a ação destruidora dos CFCs sobre a camada de ozônio troposférico que protege a Terra da radiação ultra violeta vinda do Sol. Hoje devido a esse efeito os CFCs estão sendo banidos.
- Barateamento da eletricidade.
- Introdução do verniz isolante que barateou e reduziu as dimensões dos motores elétricos.

- Logo após a 2ª Guerra Mundial a TECUNSEH desenvolveu o compressor hermético para refrigerante R12, o que popularizou definitivamente a refrigeração por compressão.

Na década de 1970 em razão da crise energética foram comercializados, por empresas com Carrier, York e Trane, vários modelos de equipamentos de condicionamento ambiental por absorção para uso em sistemas de cogeração, principalmente usando o par água – Brometo de lítio.

No Brasil vários estudos sobre a aplicação de sistemas frigoríficos por absorção; tais como, Santos (1980); Medeiros (1981); Sresnewsky (1983); Maia (1986); além de diversos estudos realizados pela equipe da UNICAMP, relatados por Cortez (1998) mas poucas aplicações práticas foram feitas. No Brasil atualmente é realizada a produção de refrigeradores domésticos por absorção pela Consul. Existe também um fabricante de sistemas com capacidade acima de 20 TR (70,3 kW), além da importação de resfriadores de líquidos (chillers).

1.1.3 - Segmentação de mercado de sistemas por absorção.

Os sistemas por absorção são fabricados para uso doméstico ou para potências relativamente elevadas, não estando o mercado provido de máquinas com potências intermediárias.

Os sistemas domésticos por absorção empregam, geralmente, o sistema Electrolux. Esses sistemas apresentam funcionamento instável em temperaturas inferiores a 0 °C, por causa da elevada percentagem de gás inerte no evaporador e

absorvedor. Além disso o coeficiente de performance desse tipo de sistema é baixo, tornando-o inviável para equipamentos maiores.

Os sistemas industriais têm custo elevado. A bomba empregada para elevar a pressão em cerca de 2000 kPa deve ser fabricada em material resistente a corrosão tendo um preço que torna inviável a fabricação comercial de equipamentos de pequena potência. O menor sistema desse tipo fabricado no Brasil destina-se à potência superior a 20 TR (70,3 kW).

Não são comuns sistemas por absorção com potência situada entre a dos equipamentos domésticos e dos industriais (entre 3 kW e 70,3 kW). Nessa faixa de potência o sistema Electrolux mostra-se ineficiente e instável em temperaturas inferiores a 0 °C e o elevado custo do equipamento industrial por absorção anula a economia feita com a substituição da energia mecânica pela térmica. Nessa faixa de potência a alternativa mais viável é o sistema por compressão, inclusive em localidades isoladas ou aplicações veiculares nas quais além do custo do combustível são necessários investimentos em motores e/ou geradores.

1.2 – Objetivos da Tese

Em vista da tecnologia disponível e da carência de um sistema frigorífico por absorção economicamente viável para potências entre 3 kW e 70,3 kW, é proposto um sistema o qual atenderia a carência de sistemas nessa faixa de potência cujas principais aplicações seriam:

1 - Em associação a geradores de eletricidade em localidades isoladas,

2 - Em aplicações veiculares; principalmente em barcos pesqueiros, caminhões frigoríficos e ar-condicionado para ônibus; usando a entalpia dos gases de escape como energético.

3 - Aproveitamento de outras fontes de calor rejeitado com temperatura acima de 180 °C.

Para tanto são propostos os seguintes objetivos para este estudo:

- a) Idealização de um sistema com baixo custo inicial.
- b) Construção e avaliação do sistema.
- c) Análise de viabilidade econômica e comercial.

1.3. - Metodologia.

Para atingir os objetivos acima será empregada a seguinte metodologia de trabalho.

a) Obtenção de dados termodinâmicos relativos à solução aquosa de amônia e a amônia pura. Esses dados deverão ser inseridos em planilhas ou gerar equações por meio de correlação de forma a poderem ser consultados por um programa de dimensionamento do sistema.

b) Elaboração de uma planilha com dois objetivos:

b1 - Realizar o dimensionamento térmico, avaliando vazões de refrigerante, trocas de calor e condições de operação de cada etapa de operação.

b2 - Dimensionar os trocadores de calor.

c) Construção e avaliação de protótipos do sistema.

Foi construído e avaliado um primeiro protótipo do sistema proposto, mas esse equipamento foi construído visando unicamente verificação do princípio de funcionamento, sem compromisso de avaliação rigorosa ou de otimização de performance e custo.

Um segundo protótipo com configuração com detalhes construtivos os quais permitiram a avaliação das trocas de energia permitindo o estudo da operação do sistema além da avaliação os seguintes parâmetros:

- Consumo de energia,
- Potência frigorífica,
- Trocas de calor no condensador e evaporador,
- Coeficiente de performance,

2 - PROJETO CONCEITUAL DO SISTEMA MECÂNICO.

Os sistemas de refrigeração por compressão atendem praticamente todas as faixas de potência frigoríficas. Já os sistemas por absorção são construídos apenas para potências muito pequenas, como o caso dos refrigeradores domésticos, ou para potências, acima de 20 TR (70,3 kW).

Buscando uma alternativa para a carência de sistemas de refrigeração por absorção com capacidade entre 0,85 e 20 TR (3 kW a 70,3 kW), é proposto o sistema descrito a seguir.

2.1 - Conceituação.

O sistema proposto é baseado no experimento de Faraday, mas com modificações que podem tornar seu funcionamento contínuo e possibilitam a introdução de controles eletrônicos otimizando a operação.

2.1.1 - Sistema com um gerador-absorvedor.

Conforme mostrado na figura 2.1, o gerador e absorvedor formam um único conjunto denominado gerador-absorvedor (1) que deve ser abastecido com uma solução de fluido frigorífico e fluido absorvente, no caso amônia e água. A solução aquecida libera o fluido refrigerante que sobe por um retificador (2) no qual a água contida no vapor de amônia é condensada para posteriormente retornar ao gerador-absorvedor por

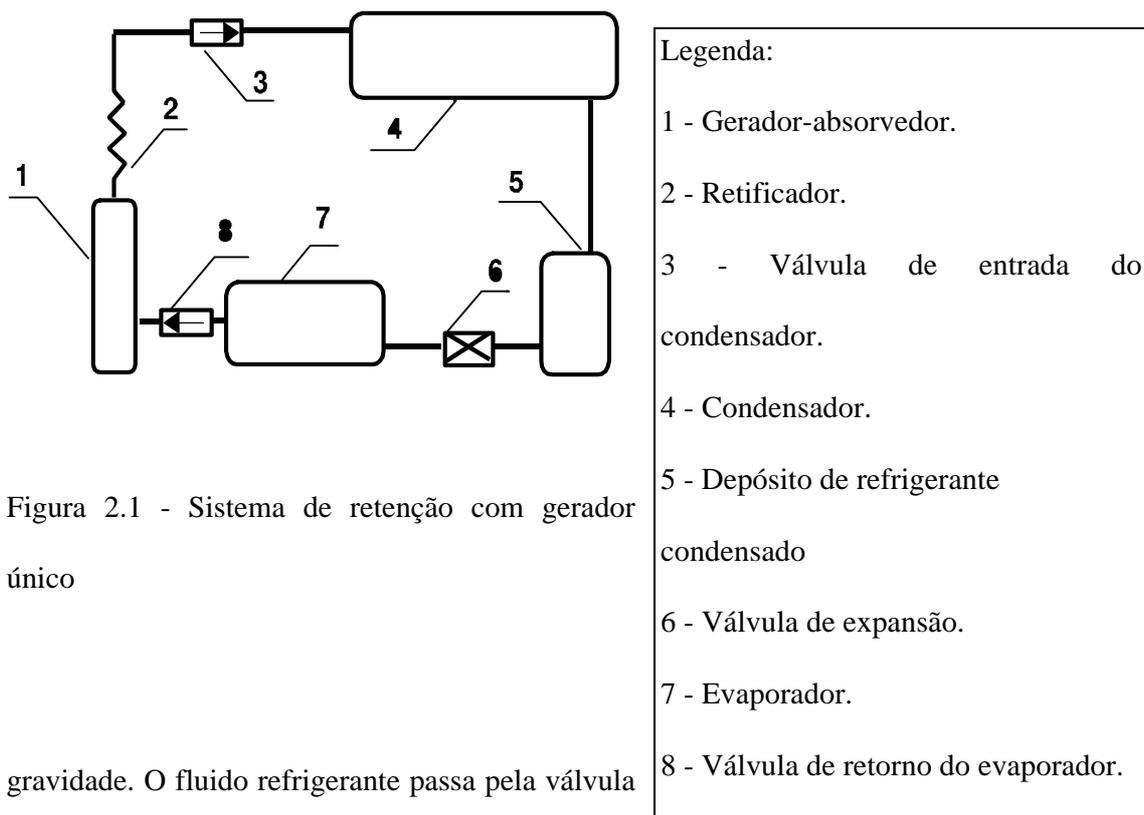


Figura 2.1 - Sistema de retenção com gerador único

gravidade. O fluido refrigerante passa pela válvula de retenção (3), a qual é aberta quando a pressão no gerador-absorvedor (1) for maior que a pressão no condensador (4). A amônia condensa-se nesse último para depositar-se no depósito de fluido (5), que pode ser o fundo do condensador. Ao interromper o fornecimento de calor a pressão cai no gerador-absorvedor (1), fechando a válvula de retenção (3) que impede o retorno de vapor de fluido refrigerante armazenado no condensador. Caso não sejam usadas válvulas que não sejam de retenção, deve ser adotado um outro sistema de controle do fluxo de refrigerante. Essa primeira fase é denominada fase de aquecimento. Após a segunda fase de operação, denominada fase de resfriamento do gerador-absorvedor, na qual esse componente é resfriado e sua pressão reduzida, inicia-se a terceira fase denominada fase de refrigeração da carga. Na fase de refrigeração da carga é aberta a válvula (8), que estava fechada, permitindo o fluxo de fluido refrigerante do evaporador (7) para o gerador-absorvedor. Dessa forma o líquido condensado a alta pressão armazenado no depósito de fluido condensado (5)

fluido controlado pela válvula de expansão (6) gerando o efeito frigorífico no evaporador (7). O fluido refrigerante é direcionado ao gerador-absorvedor (1) pela depressão criada após a saída do fluido refrigerante nele contido no início da operação e também pelo efeito da absorção. A figura 2.2 ilustra a seqüência de abertura de válvulas do sistema com um único gerador-absorvedor, sendo que a válvula do evaporador que abre de forma intermitente é representada por linha tracejada .

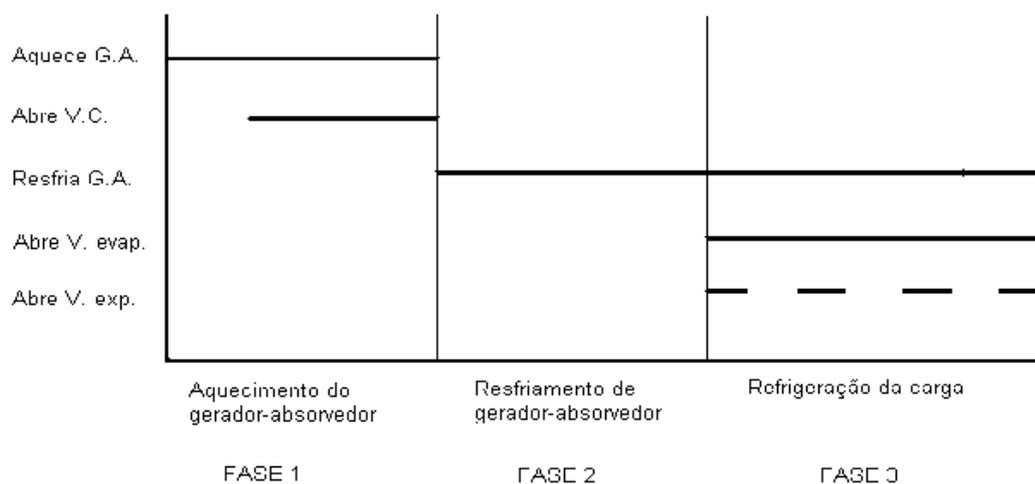


Figura 2.2 – Operação do sistema com um único gerador

2.1.2 - Sistema com dois geradores-absorvedores.

O sistema descrito na figura 2.1 só gera efeito frigorífico quando o gerador-absorvedor (1) está em temperatura próxima à do ambiente, ou seja em

condições de absorver fluido refrigerante. Esse sistema tem, portanto, operação intermitente e é denominado sistema com gerador único.

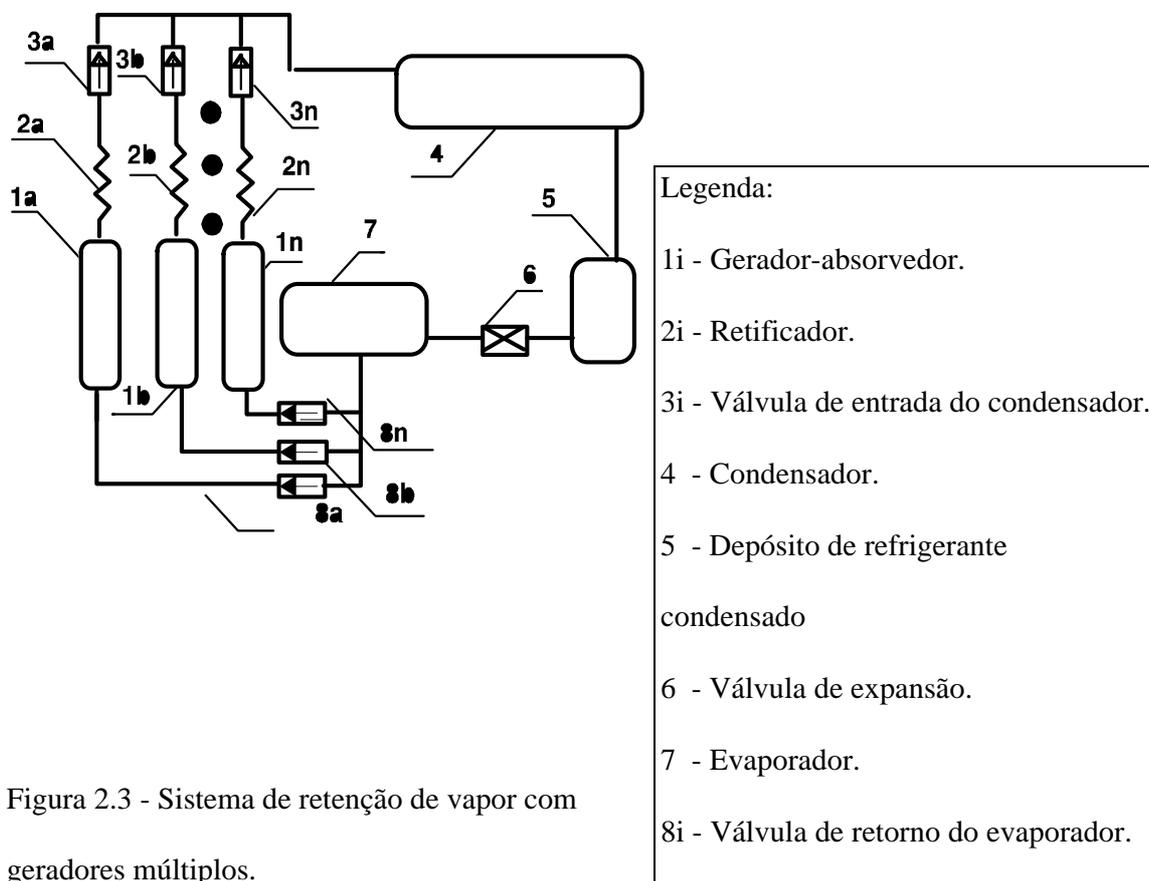


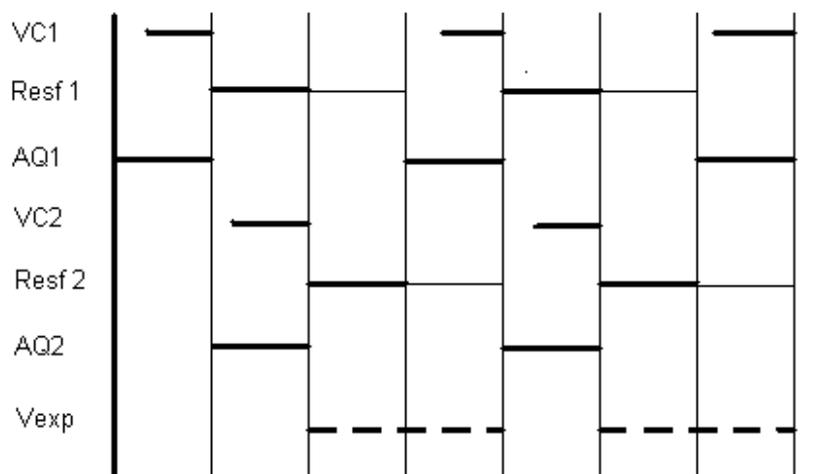
Figura 2.3 - Sistema de retenção de vapor com geradores múltiplos.

Conforme ilustra a figura 2.3, o sistema pode ser arranjado de forma a ter vários conjuntos geradores-absorvedores (1a), (1b), (1n) dotados de igual número de válvulas controladoras da saída de vapor do gerador-absorvedor (3a), (3b), (3n) e de retorno de vapor do gerador-absorvedor (8a), (8b) e (8n) nessa disposição alguns geradores-absorvedores são aquecidos para produzir vapor, enquanto os demais absorvem o fluido refrigerante oriundo do evaporador ou estão em fase de resfriamento.

Assim a geração de efeito frigorífico ocorrerá de forma contínua, desde que a operação do sistema seja feita de forma sincronizada.

O sincronismo pode ser feito com o uso de válvulas de retenção mecânicas pois o gerador-absorvedor quando opera como gerador está com a entrada vinda do evaporador bloqueada e saída para o condensador aberta e quando opera como absorvedor estará com a saída para o condensador bloqueada e retorno do evaporador aberta em razão das diferenças de pressão. Esse sistema é denominado sistema com geradores múltiplos.

A operação das válvulas pode ser feita na seqüência ilustrada na figura 2.4.



AQ – Aquecimento do Gerador-absorvedor

Resf – Resfriamento do Gerador-absorvedor

VC – Abertura da válvula de entrada do condensador

Vexp – Abertura da válvula de expansão

Figura 2.4 – Sequência de operação das válvulas de um sistema com dois geradores-absorvedores.

Apesar do fluxo de gases poder ser controlado por válvulas de retenção mecânica acionadas pela diferença de pressão, podem ser usados outros tipos de válvulas, como válvulas solenóides acionadas por sistema computadorizado com dados obtidos de sensores de pressão e temperatura otimizando o funcionamento otimizado do sistema.

2.2 - Cálculos Termodinâmicos do Sistema.

O dimensionamento do sistema foi feito com o auxílio de uma planilha em Excell, a qual seguiu os seguintes passos:

- 1 – Cálculo da energia absorvida do ambiente a refrigerar.
- 2 – Cálculo da massa de amônia necessária por ciclo.
- 3 – Determinação da quantidade de solução de água e amônia.
- 4 – Cálculo do calor fornecido à solução.
- 5 – Determinação do tempo de aquecimento.
- 6 – Determinação do C.O.P.

A metodologia de cálculo para determinação desses valores é descrita a seguir. Nessa descrição os números entre parênteses referem-se às células correspondentes a essas grandezas na planilhas de dimensionamento do sistema. A documentação da planilha de cálculo encontra-se no anexo A.

2.2.1 – Cálculo de massa e concentração da solução:

O dimensionamento termodinâmico do sistema é iniciado pelo cálculo da vazão de amônia no evaporador, mas como o sistema tem operação intermitente é necessário calcular a massa de amônia em cada ciclo. A massa de amônia usada em cada ciclo é calculada segundo a equação 2.1 e na planilha de cálculo esse valor é expresso na célula {C40} em [kg].

$$M_{nh_3} = \frac{60 \text{ PF DC}}{1000} \quad (2.1)$$

(heo - hei)

Sabendo-se que a quantidade de amônia condensada é a mesma perdida pela solução rica, é possível calcular a massa de solução rica necessária, considerando-se a concentração da solução rica e da solução pobre. Tal cálculo pode ser efetuado de acordo com a equação 2.2, sendo o resultado expresso na célula {c41}, em [kg]:

$$M_{ger} = \frac{100 M_{nh_3}}{(X_{rico} - X_{pobre})} \quad (2.2)$$

A concentração da solução rica com a qual o gerador-absorvedor é abastecido é limitada pela máxima concentração admissível para solução para o máximo valor da pressão de evaporação da amônia, na máxima temperatura da solução no momento da absorção. Neste trabalho foi adotada a concentração máxima de 28%.

O limite inferior da concentração é alcançado no instante em que o vapor gerado passa a ser integralmente absorvido pelo vapor de água que se condensa no retificador. A determinação desse valor é feita de forma iterativa conforme será explicado na descrição da planilha de cálculo, constante do anexo A.

2.2.2 - Cálculo de trocas de calor.

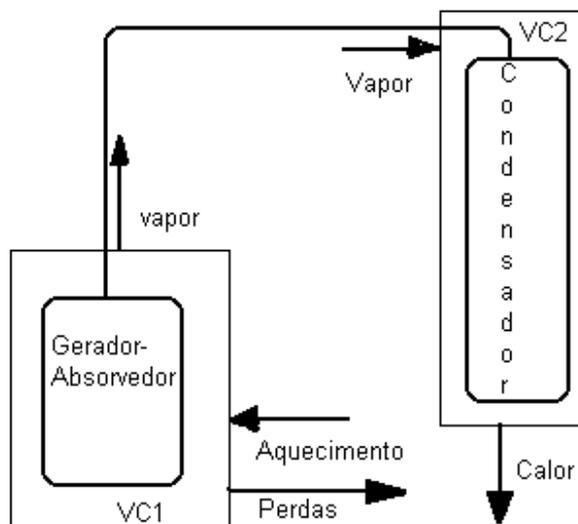


Figura 2.5 – Trocas de calor na geração de vapor

Conforme ilustra a figura 2.5, a quantidade de calor fornecido à solução de amônia pode ser avaliada em 2 etapas distintas:

1) Primeira parcela: Aquecimento. O calor para aquecimento na etapa de elevação de pressão, exibido na célula {c52}, e expresso em [kJ]. Nessa etapa é fornecido calor para elevar a pressão e a temperatura, da solução existente no volume de controle 1 da figura 2.5, que estão em valores próximos aos do ambiente, condição na qual é possível uma concentração de amônia de aproximadamente 30%, até que seja atingida a pressão de condensação. Essa quantidade de calor é calculada por (2.3):

$$Q_1 = M_{ger} (u_2 - u_1) \quad (2.3)$$

No caso de sistemas com recuperação de calor, parte da energia rejeitada no resfriamento de um segundo gerador é reaproveitada para o aquecimento do gerador-absorvedor que está sendo analisado. Dessa forma deve ser descontada do valor calculado anteriormente a entalpia reaproveitada, expresso na célula {f52}. Esse caso não pôde ser verificado experimentalmente devido a problemas com o sistema com dois geradores-absorvedores.

2) – Segunda parcela: Destilação. A segunda parcela de energia considerada é a fornecida à solução contida no gerador-absorvedor durante a evaporação da amônia. Para tanto deve ser considerada a diferença da energia interna da solução rica no início da evaporação e da solução pobre no final do processo, levando-se em conta os valores da massa existente no gerador absorvedor em cada estado, o qual é menor no final desse processo devido à evaporação da amônia. Também é avaliado o calor fornecido à amônia que evapora. Esta parcela de energia, por questão de simplificação, é avaliada considera-se o valor da entalpia (h_{vnh_3}) para temperatura, pressão e concentração a que deixa o gerador-absorvedor. O calor fornecido nessa etapa é expresso nas células da planilha de cálculo {c53 e f53}, para a solução que permanece no gerador-absorvedor e em {c54 e f54} para a parcela associada ao vapor que sai do gerador e em {c55 e f55} a energia associada à água que retorna do retificador para o gerador. O valor da energia é expresso em [kJ], é calculado pela equação 2.4, a qual mostra as trocas de energia verificada no volume de controle 1:

$$Q_2 = (M_{ger} - M_{nh_3}) u_3 - (M_{ger} u_2) + M_{nh_3} h_{vnh_3} - M_{sfrac} h_{sfrac} \quad (2.4)$$

O calor transferido no condensador pode ser estimado com base na energia interna da amônia condensada e na entalpia associada à amônia oriunda do gerador-absorvedor, já

retificada, isto é isenta de água. Esse valor é exibido nas células {c56 e f56}, sendo expresso em [kJ], e calculado conforme a equação 2.5.

$$Q_3 = M_{nh_3} h_{vnh_{3puro}} - M_{nh_3} u_{cond} \quad (2.5)$$

Calor total da fase de aquecimento dado pela somatória das 2 primeiras parcelas, conforme a equação 2.6. Esse valor é expresso nas células {c59 e f59} da planilha de calculo, em [kJ].

$$Q_g = Q_1 + Q_2 \quad (2.6)$$

O período de aquecimento, exibido na célula {c61} da planilha de dimensionamento em [s], é determinado pelo quociente da energia fornecida durante o aquecimento pela potência do aquecedor, conforme a equação 2.7:

$$t_{aquec} = Q_g / P_Q \quad (2.7)$$

Para determinar o coeficiente de performance, é necessário estimar a energia transferida no evaporador. Calor transferido no evaporador é calculado conforme a equação 2.8, sendo o resultado exibido na célula {c62} da planilha de cálculo, expresso em [kJ]:

$$Q_{evap} = P_{tevap} \quad (2.8)$$

O coeficiente de performance (C.O.P.) é estimado pela equação 2.8 tendo seu resultado expresso na célula {c63} da planilha de cálculo:

$$\text{C.O.P.} = Q_{\text{evap}}/Q_{\text{g}} \quad (2.9)$$

2.3 - Dimensionamento dos Trocadores de Calor.

Os trocadores de calor são dimensionados conforme metodologia descrita por Araújo (1982). O coeficiente de filme para vaporização da amônia foi extraído de Ozicik (1977).

2.3.1 - Condensador.

O condensador será composto por um tubo curvado de forma helicoidal com fluxo descendente de amônia condensada, instalado dentro de um casco no qual haverá fluxo ascendente da água. Conforme ilustra a figura 2.6.



Figura 2.6 – Foto do condensador

2.3.1.1 - Cálculo do coeficiente de película na face interna da tubulação:

O coeficiente de película da face interna do condensador, segundo Araújo (1982), é dado pela equação 2.10:

$$h_{\text{intcond}} = C \frac{k_l}{L} \left(\frac{g \rho_l^2 \lambda L^3}{\mu K_l \Delta T} \right)^{1/4} \quad (2.10)$$

Sendo que os valores de ρ , μ e K_l devem ser considerados para o estado de líquido saturado.

2.3.1.2 - Cálculo do coeficiente de película na face externa da tubulação:

Segundo Araújo (1982), calculado pela equação 2.11:

$$h_{\text{extcond}} = 0,33 \frac{k}{D_{\text{extcond}}} (N_{\text{pr}})^{1/3} \left(\frac{D_{\text{extcond}} G_{\text{max}}}{\mu} \right)^{0,6} \quad (2.11)$$

Sendo que o valor do Fluxo de massa por unidade de área, G_{max} , deve estar em $[\text{kg}/\text{h}\cdot\text{m}^2]$ e é calculado pela equação 2.12:

$$G_{\text{max}} = \frac{\text{Calor trocado no condensador}}{K (T_{\text{ic}} - T_{\text{sc}})} \quad (2.12)$$

2.3.1.3 - Dimensionamento do condensador.

O coeficiente de película considerando a área da face interna do condensador, segundo Araújo (1982) é dado pela equação 2.13:

$$U_c = \frac{1,2}{\frac{D_{ext}}{D_{int} h_{intcond}} + \frac{D_{ext} \ln(D_{ext}/D_{int})}{K_{tubo}} + \frac{1}{h_{extcond}}} \quad (2.13)$$

Área do condensador.

A área do condensador de calor é calculada pela equação 2.14:

$$A = Q / U_c \cdot \Delta T_{cd} \quad (2.14)$$

Comprimento da serpentina é calculado conforme a equação 2.15:

$$l = A / \pi \cdot D_{int} \quad (2.15)$$

2.3.2 - Evaporador.

O evaporador será composto por um tubo curvado de forma helicoidal com fluxo ascendente de amônia em evaporação, instalado dentro de um casco no qual circulará fluxo ascendente de água. O evaporador é ilustrado na figura 2.7.

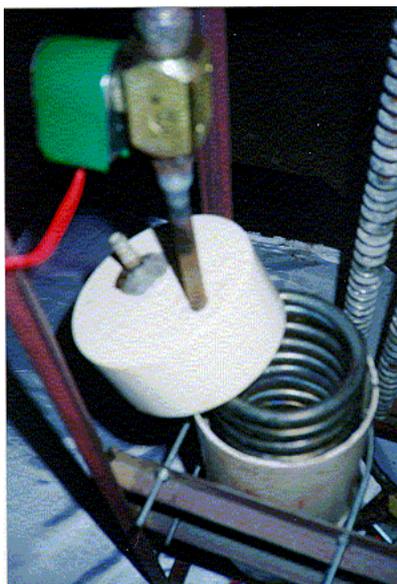


Figura 2.7 - Evaporador

2.3.2.1 - Cálculo do coeficiente de película na face interna da tubulação:

Não foi encontrada uma fórmula para cálculo preciso de coeficiente de filme da amônia durante a evaporação. As fórmulas existentes dependem de variáveis empíricas para cada fluido e material da tubulação e apresentam, segundo a ASHRAE (1993), erro de cerca de 100%.

Foi aplicada a equação 2.16, sugerida por Ozicik (1977):

$$h_{\text{intevap}} = \frac{K_f}{D_{\text{int}}} \left(\frac{\rho_l}{\rho_v} \right)^{0,28} \frac{(D_{\text{int}} G_{\text{max}} X)^{0,87}}{\mu} N_{\text{Pr}l}^{0,4} \quad (2.16)$$

Sendo os valores de μ devem estar em [kg/m h] e g em [m/s²]

2.3.2.2 - Cálculo do coeficiente de película na face externa da tubulação:

Segundo Araújo (1982), calculado pela equação 2.17,

$$h_{\text{extevap}} = 0,33 \frac{k}{D_{\text{ext}}} (\text{Npr})^{1/3} \frac{(D_{\text{ext}} G_{\text{max}})^{0,6}}{\mu} \quad (2.17)$$

Sendo que o valor do Fluxo de massa por unidade de área, G_{max} , deve estar em [kg/h·m²] e é calculado pela equação 2.18:

$$G_{\text{max}} = \frac{\text{Calor trocado no evaporador}}{(K (T_{\text{ie}} - T_{\text{se}}))} \quad (2.18)$$

2.3.2.3 - Dimensionamento do evaporador.

O coeficiente de película considerando a área da face interna do evaporador e considerando o fator de sedimentação de 1,2, segundo (araújo) é dado pela equação 2.19:

$$U_e = \frac{1,2}{\frac{D_{\text{ext}}}{D_{\text{int}} h_{\text{intevap}}} + \frac{D_{\text{ext}} \ln(D_{\text{ext}}/D_{\text{int}})}{K_{\text{tubo}}} + \frac{1}{h_{\text{extevap}}}} \quad (2.19)$$

A área do evaporador é calculada pela equação 2.20:

$$A = Q / U_e \cdot \Delta T_{\text{ev}} \quad (2.20)$$

Comprimento da serpentina:

Dado pela equação 2.21:

$$l = A / \pi \cdot D_{\text{int}} \quad (2.21)$$

2.4 – Comparação do Sistema Proposto com o Convencional

Conforme descrito no item 1.1 os sistemas de refrigeração por compressão e absorção apresentam em comum, no digrama pressão em função da entalpia, as etapas de condensação e evaporação do fluido refrigerante. Nesses sistemas e no sistema proposto a etapa de condensação é representada pelo trecho 1-2 da figura 1.1 e pela equação 2.5 e a etapa de evaporação pelo trecho 3-4 da mesma figura e pela equação 2.1.

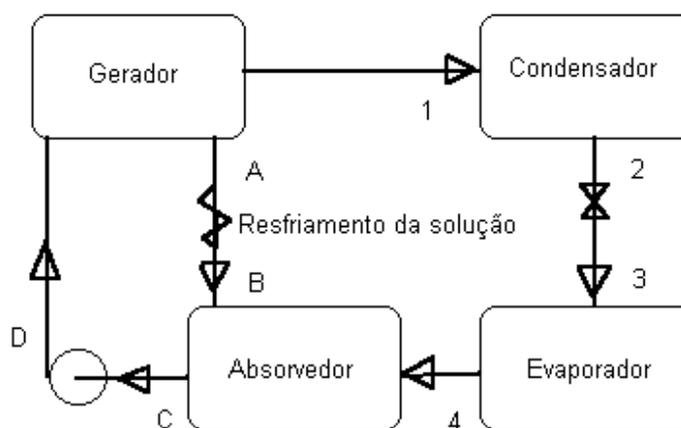


Figura 2.8 – Sistema de refrigeração por absorção tradicional

O sistema por absorção tradicional, representado na figura 2.8, é descrito com o auxílio do digrama de entalpia em função da concentração de refrigerante-absorvente mostrado na figura 2.9.

A solução pobre deixa o gerador (ponto A) e tendo sua pressão e temperatura reduzidas de forma a entrar no absorvedor (ponto B) em condições de absorver o fluido refrigerante vindo do evaporador. No absorvedor a solução pobre aumenta sua concentração graças a adição de fluido refrigerante. Conseqüentemente a

pressão sobe até atingir o valor correspondente à pressão do refrigerante em evaporação, enquanto ocorre um aumento de temperatura, pois o processo é exotérmico. A combinação das variações de pressão, temperatura e concentração ocorre um aumento da entalpia da solução existente no absorvedor. Após sair do absorvedor (ponto C) o fluido é bombeado, tendo sua pressão e entalpia elevadas. Ao sair da bomba a solução é aquecida no gerador tendo sua concentração reduzida e sua entalpia elevada até retornar ao (ponto A).

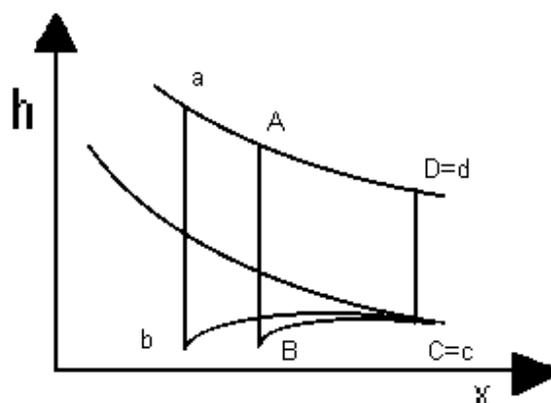


Figura 2.9 – Gráfico Entalpia x Concentração

No sistema proposto, ao iniciar o aquecimento, a solução encontra-se em um estado semelhante ao verificado na solução que sai do absorvedor (Ponto c). A partir desse estado ocorre o aquecimento o qual é dividido em duas etapas: na primeira, descrita pelas equação 2.3, ocorre o aumento da temperatura e entalpia do fluido até que seja atingido o (ponto d); na segunda etapa, descrita pela equação 2.4, a solução é aquecida à pressão constante, ocorrendo o aumento da entalpia e redução da concentração até que seja atingido o (ponto a). No sistema proposto a concentração mínima da solução pobre é inferior à do sistema tradicional. Isso ocorre devido ao fato

do sistema proposto operar de forma intermitente, não ocorrendo a renovação da solução rica.

No período de resfriamento da solução pobre ocorre a redução da temperatura e pressão passando ao estado representado no (ponto a) para o representado pelo (ponto b). Durante a refrigeração da carga a pressão sobe até o valor correspondente até ao valor da pressão final de evaporação, enquanto ocorre o aumento da concentração de solução e seja atingido o ponto c.

2.5 – Análise de Sensibilidade à Variação de Parâmetros.

O programa de dimensionamento permite o cálculo das dimensões e a simulação de funcionamento em função da variação de cada um de seus parâmetros de entrada. É feita, a seguir, uma análise das conseqüências da variação de cada um dos parâmetros. Encontram-se no apêndice 2.1 a seção de entrada de dados das planilhas com os resultados nos quais a análise abaixo foi baseada.

2.5.1 - Variação da temperatura de condensação.

O aumento da temperatura de condensação causa elevação da pressão de condensação e como conseqüência aumenta a energia necessária para o aquecimento da solução aquosa de amônia, principalmente na etapa de elevação de pressão. Isso reduz o Coeficiente de performance da máquina entre 0,6% e 0,8 % para cada grau Celsius de elevação de temperatura de condensação, na faixa entre 28 °C e 36 °C.

Como a temperatura de condensação varia basicamente com a temperatura

do meio com o qual o calor é trocado, foi adotado um sistema com condensador resfriado por água considerando a temperatura de condensação de 35 °C, e temperatura da água de resfriamento de 20 °C.

2.5.2 - Potência frigorífica.

Com a variação da potência frigorífica há um aumento linear do calor gasto na fase de aquecimento de vapor, desta forma o C.O.P. é mantido constante.

O inventário de solução aquosa de amônia varia linearmente de 10,6 kg por kW de potência frigorífica, para as condições de operação previstas.

A potência escolhida para o dimensionamento levou em conta criação de uma variação de temperatura que pudesse ser medida pelo sistema de aquisição de dados.

2.5.3 - Duração da fase de refrigeração.

Como a energia fornecida à carga é dada pelo produto da duração da fase de refrigeração pela potência do evaporador, para uma mesma potência, modifica linearmente o inventário de solução no sistema e a energia necessária ao seu aquecimento. Foi adotada a duração de 20 minutos por permitir o uso de um volume de solução compatível com o gerador-absorvedor. A redução demasiada desse período pode tornar ou dificultar medições devido ao tempo de resfriamento da água do evaporador.

2.5.4 - Concentração da solução rica.

A energia gasta para atingir a pressão de geração de vapor (Q_1) é reduzida exponencialmente com o aumento da concentração, pois concentração da solução está cada vez mais próxima do máximo suportável em um determinado estado. Desta forma o C.O.P aumenta proporcionalmente com a concentração.

Para facilitar a aquisição foi usada solução com a concentração máxima nas condições ambientes, ou seja 25 %. Para o uso de concentrações maiores é necessária a preparação da solução dentro da máquina exigindo a aquisição de amônia pura líquida e o botijão para armazenagem.

2.5.5 - Temperatura máxima de geração.

O início da geração de vapor dá-se no instante em que a solução aquosa de amônia atinge a pressão de condensação e temperatura de saturação para a concentração da solução rica. O limite superior da temperatura de geração ocorre no momento em que a água evaporada junto com a amônia é suficiente para reabsorver todo vapor de amônia durante o processo de retificação.

Próximo a esse limite a eficiência da destilação é pequena, pois quase toda amônia gerada retorna ao gerador. Entretanto deve-se operar o equipamento em condições próximas, pois o C.O.P é maximizado nessa situação devido ao aproveitamento do calor usado para elevar a pressão (q_1), cujo valor não depende desse da temperatura máxima.

2.5.6 - Temperatura de evaporação.

Influencia a pressão de evaporação e comprimento da serpentina do evaporador. Parâmetros como massa de solução, energia de aquecimento não apresentam grandes variações.

Apesar desse parâmetro não se controlável supôs-se a temperatura de -22 °C, pois, pela natureza cíclica do sistema, a pressão na fase de refrigeração é bastante variável e freqüentemente está acima de 1 bar.

2.5.7 - Temperatura da água.

Afeta o dimensionamento dos trocadores de calor. No caso do condensador pode causar uma variação da temperatura de condensação da amônia, que pode alterar significativamente as condições de operação do equipamento. É considerado um dado em função da temperatura ambiente.

2.5.8 - Variação de temperatura da água nos trocadores de calor.

Influencia unicamente o dimensionamento dos trocadores de calor. No caso do condensador pode afetar a temperatura de condensação, acarretando nos efeitos já descritos. Foram adotados valores que implicassem em vazões inferiores a 1 litro por minuto e permitissem o uso de uma serpentina com comprimento total inferior a 10m.

2.5.9 - Variação do diâmetro da serpentina.

Analisando vários diâmetros externos de tubos capazes de suportar pressões entre 2200 kPa e 2300 kPa, verificou-se que o comprimento da tubulação é pouco sensível a essa variação. Possivelmente o aumento da velocidade de escoamento do fluido aumenta o coeficiente de filme na mesma proporção que o diâmetro diminui.

Por disponibilidade comercial será usado o tubo schedule 80 diâmetro nominal 3/8" (diâmetro interno 10,7 mm e externo 17,1 mm), sem costura.

2.5.10 - Diâmetro do casco.

O diâmetro do casco afeta a turbulência da água e conseqüentemente as trocas de calor. Para diâmetros do casco próximos a 150 mm, o comprimento da serpentina do condensador cresce 0,02 m para cada mm de aumento do diâmetro, enquanto o da serpentina do evaporador aumenta 0,008 m para cada mm.

Deverá ser usado o casco com menor diâmetro possível, ou seja, limitado pela curvatura da serpentina.

2.6 - Valores Adotados e Resultados Esperados.

2.6.1 - Valores adotados no projeto.

Após a análise de sensibilidade foram adotados os seguintes valores para o protótipo a ser construído.

- Temperatura de condensação: 35,6 °C. Temperatura cerca de 15 °C acima da temperatura ambiente e da água de resfriamento.
- Potência frigorífica: 350 W. Com essa potência o maior dos trocadores, o condensador, terá cerca de 10 m de comprimento.
- Duração da fase de refrigeração: 20 min. Com esse valor será usado uma quantidade de solução rica compatível com o gerador-absorvedor adotado, ou seja aproximadamente 4 kg.
- Concentração da solução rica: 25%. Concentração que pode ser facilmente adquirida por ser encontrada na fase líquida a pressão atmosférica.
- Temperatura final de geração de vapor: 155,0 °C. Calculada em função da reabsorção do vapor gerado.
- Temperatura de evaporação: -22 °C. Para esse valor as condições de temperatura e pressão da solução rica no final da absorção serão muito inferiores às condições de saturação da solução rica.
- Potência de aquecimento: 0,6 kW. Valor que possibilita duração da fase de geração de vapor inferior ao da fase de refrigeração.
- Temperatura da água de resfriamento: 20 °C. Valor aproximado da temperatura ambiente.
- Entalpia recuperada do gerador-absorvedor em resfriamento: 35% da entalpia perdida no resfriamento.

2.6.2 - Dimensões do equipamento.

Aquecedor: 0,6 kW

Condensador:

Calor trocado: 391 kJ

Comprimento da serpentina: Mínimo 5,5 m

Diâmetro do casco: 150 mm

Temperatura da entrada de água: 20 °C

Temperatura da saída de água: 21 °C

Vazão de Água: 280 l/h

Evaporador:

Calor trocado: 350 kJ

Comprimento da serpentina: Mínimo: 0,8 m

Diâmetro do casco: 150 mm

Temperatura da entrada de água: 16,0 °C

Temperatura da saída de água: 14,5 °C

Vazão de Água: 200 l/h

2.6.3 - Resultados esperados.

Pressão de condensação: 1270 kPa

Pressão de evaporação: Máxima: 71 kPa

Temperatura de início da liberação de vapor: 127,2 °C

Concentração da solução pobre: 13,2%

Massa de amônia condensada: 390 g

Calor cedido nas etapas de aquecimento e elevação da pressão sem troca de calor entre os geradores-absorvedores: 4036 kJ (1,12 kWh)

Duração da fase de geração de vapor: 112,1 min

C.O.P. = 10,4 %

2.7 - Ensaio e Análise de Resultados.

2.7.1 - Verificação dos valores calculados pelo programa de dimensionamento:

a - Verificação de troca de calor no condensador a partir de:

- Vazão da água de resfriamento,
- Temperatura da água de resfriamento não foi medida devido à pequena variação de temperatura, a qual é inferior à capacidade de avaliação do equipamento de aquisição de dados.

b - Verificação de troca de calor no evaporador a partir de:

- Vazão da água de resfriamento do trocador de calor,
- Avaliação do calor transferido a uma massa de água que troca calor com o evaporado e circula em circuito fechado.

c - Verificação da energia fornecida ao gerador.

- Consumo de energético.
- Variação de temperatura em razão das trocas de calor com outro gerador.

d - Verificação da energia rejeitada na fase de resfriamento do trocador de calor.

- Variação de temperatura com o tempo na troca de calor com a água de resfriamento do trocador de calor.

3 – CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

3.1 – Construção do Primeiro Protótipo.

O primeiro protótipo construído, ilustrado na foto 4.1, teve unicamente a finalidade de demonstrar a viabilidade do sistema proposto, foi custeado pelo autor. A concepção desse protótipo objetivou a minimização de custos e teve como único objetivo testar o conceito proposto. A descrição desse protótipo é feita a seguir.



Figura - 3.1 Primeiro protótipo

3.1.1 - O condensador

O condensador foi construído em tubo de aço schedule 80 com diâmetro nominal de $\frac{1}{2}$ " (diâmetro interno de 24,3 mm e espessura de 4,4 mm). O tubo de aço foi dobrado a quente de forma a construir-se um trocador tipo trombone, com largura de 0,65 m e comprimento da tubulação de 9,2 m e declividade de 3,2 %. A fixação do condensador à estrutura foi feita por meio de duas peças construídas em madeira, com sulcos para alojar a tubulação entre ela e a estrutura. O condensador do primeiro protótipo é ilustrado na figura 3.2.



Figura 3.2 – Detalhe do condensador do primeiro protótipo.

3.1.2 - O evaporador

O evaporador foi construído com 11,2 metros de tubo de aço schedule 80 com diâmetro nominal de ½” (diâmetro interno de 24,3 mm e espessura de 4,4 mm). Os tubos foram dobrados a quente sobre um gabarito de forma a se construir um trocador de calor que se alojasse em uma caixa de isopor, com declividade de 2,5%, o que acarretou alguns problemas, como descrito no item 3.3.3, relativo aos fenômenos observados. O trecho compreendido entre a válvula de expansão e a entrada do evaporador foi revestido com espuma para isolamento de tubulação de água quente residencial. Foram instalados dois termômetros de mercúrio nesse sistema; um dentro de um recipiente contendo um litro de água instalado dentro da caixa de isopor e o outro inserido no gabinete por uma perfuração no mesmo. A figura 3.3 mostra o evaporador.



Figura 3.3 – Detalhe da tubulação do evaporador do primeiro protótipo.

3.1.3 – Gerador-absorvedor

O gerador-absorvedor foi construído a partir de um botijão de GLP com capacidade para 2 kg. Essa decisão foi tomada pois esses botijões são ensaiados em pressões superiores a 32 Bar, segundo a NBR 108460, o dobro da pressão máxima do sistema proposto. Foi removida a válvula original e em seu lugar instalado um niple de ½” para conexão ao restante do sistema. Também foi introduzido um tubo de aço schedule 80 com diâmetro nominal de ½” instalado verticalmente na parede do gerador-absorvedor. Esse tubo possui 100 mm de comprimento com a extremidade soldada de maneira a permitir a instalação de um termômetro bimetálico. A tubulação do equipamento próxima do gerador absorvedor teve de ser aletada para evitar danos às válvulas de controle do fluxo de refrigerante devido ao aquecimento. O gerador-absorvedor é mostrado na figura 3.4.

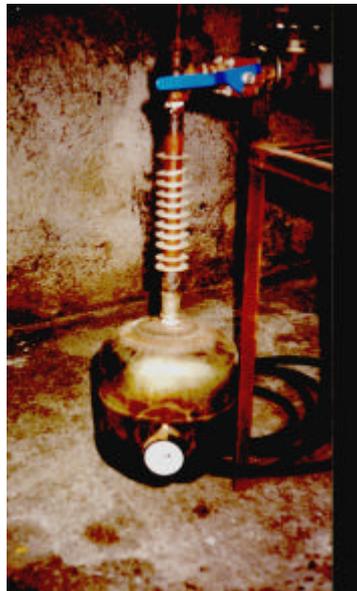


Figura 3.4 – Gerador-absorvedor

3.1.4 – Válvulas

Esse sistema possui três válvulas de esfera com rosca de ½”NPT de fabricação Valmicro e uma válvula de expansão com extremidade soldada de fabricação Eika. As válvulas de esfera foram empregadas nas seguintes posições:

- 1) Válvula de entrada do condensador
- 2) Válvula de saída do evaporador
- 3) Válvula de alívio

A válvula de expansão apresentou vazamento interno, tendo sido o problema reparado com a remoção de cavacos da sede da mesma.

3.1.5 – Roscas

Quase todas as conexões do protótipo são fabricadas em aço carbono com rosca NPT, o que se mostrou um erro de projeto. A grande quantidade de conexões roscadas causou problemas constantes de vazamento, os quais só foram minimizados com a aplicação de teflon em fita e resina epoxi (Araldite) nas roscas. Outros vedantes foram usados, mas não resistiram à amônia ou ao calor. No segundo protótipo quase todas as conexões foram soldadas, diminuindo os custos e os problemas com vazamento.

3.1.6 – Aquecimento

O aquecimento do sistema foi realizado por meio de um queimador de GLP, o que acarretou problemas com a mensuração da energia fornecida. Para reduzir as perdas convectivas foi construída uma carenagem envolvendo o queimador e o gerador-absorvedor.

3.1.7 – Solução aquosa de amônia

Foi adquirida em lojas de produto para tinturaria solução aquosa de amônia com concentração de 25 %.

3.2 – Operação do Primeiro Protótipo.

A operação do sistema pode ser dividida em três etapas:

- 1 – Aquecimento do gerador-absorvedor.
- 2 - Resfriamento do gerador-absorvedor.
- 3 – Refrigeração da carga

3.2.1 - Aquecimento e resfriamento do gerador-absorvedor

Com todas as válvulas fechadas a solução é aquecida, enquanto os valores relativos a temperatura e pressão da solução são lidos e seus valores são acompanhados por meio de tabelas. Ao atingir-se a pressão de condensação da amônia é aberta a válvula de entrada do condensador. Pouco depois nota-se o aquecimento do condensador, indicando a condensação da amônia. Continua-se o aquecimento até que a temperatura e a pressão da

solução correspondam ao valor considerado limite inferior da concentração da solução pobre, nesse caso foi arbitrado 12%, ou até que a pressão limite de 15 bar seja atingida. O valor máximo da temperatura da solução foi de 165 °C. Nesse ponto fecham-se todas as válvulas, desliga-se o queimador e aguarda-se cerca de quatro a seis horas pelo resfriamento da solução.

O apêndice 3.1 mostra as pressões, concentrações e título da solução verificados durante o aquecimento da solução.

3.2.2 – Refrigeração da carga

Com a solução aquosa à temperatura ambiente, observa-se uma pressão no gerador-absorvedor de cerca de 0,4 bar. Com todas as válvulas fechadas, abre-se a válvula de saída do evaporador e a válvula de expansão, esta última por curtos intervalos de tempo, sempre de forma a não elevar a pressão do evaporador acima de 1 ou 2 bar. Conforme será descrito no item 3.2.2, foi necessário que o gerador-absorvedor fosse submetido a vibração nessa fase da operação.

O apêndice 3.2 mostra os valores de temperatura do gabinete refrigerado a água em seu interior durante esse processo.

3.3 - Fenômenos observados

Durante a operação do sistema notou-se ser possível usar o protótipo para o levantamento das curvas características do par refrigerante-absorvente, que a variação da

densidade em função da concentração da amônia impede a absorção do refrigerante, e ainda que, a escolha de fluxo descendente de refrigerante no evaporado foi equivocada.

3.3.1 – Curva característica do par refrigerante-absorvente

Durante a fase de aquecimento foram levantados os dados do apêndice 3.1 os quais deram origem ao gráfico ilustrado na figura 3.5. Nesse gráfico pode-se notar que o aquecimento da solução dá-se em três etapas:

- 1) Até que as condições limite para o título da solução rica sejam atingidas. A pressão e a temperatura sobem de maneira sem um comportamento bem definido até que sejam alcançados condições de pressão e temperatura correspondentes à concentração da solução em uso.

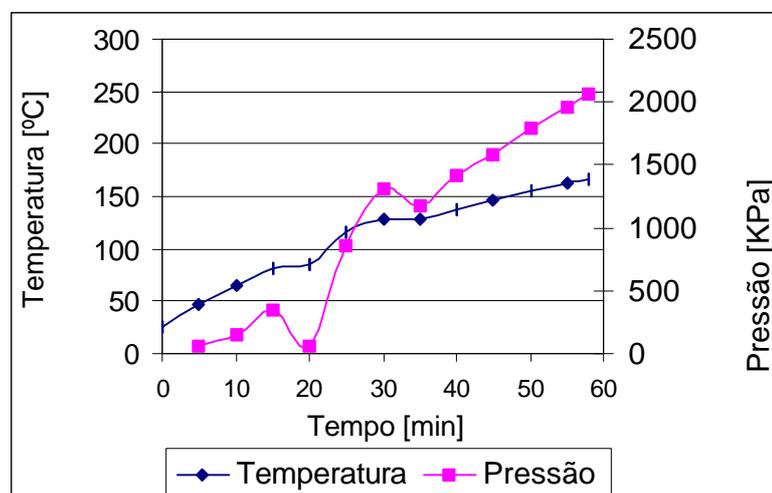


Figura 3.5 – Gráfico da pressão em função da temperatura durante o aquecimento da solução.

- 2) Elevação da pressão: A pressão e temperatura passam a subir de forma simultânea, mas seguindo sempre a curva correspondente ao mesmo valor de concentração da solução.
- 3) Destilação da solução: A pressão estabiliza-se e a temperatura continua a subir. Nessa fase nota-se o aquecimento do condensador, ou seja a solução está liberando amônia.

Tal seqüência de fatos faz crer na capacidade do equipamento construído poder ser usado para a obtenção de curvas de outros pares refrigerantes, dos quais existe escassez de dados.

3.3.2 – Variação da massa específica da solução em função da concentração.

Os primeiros ensaios do primeiro protótipo causaram a impressão que sistema proposto não funcionaria de forma adequada. Ao abrir-se a válvula de retorno do evaporador e abrir de forma intermitente a válvula de expansão notou-se que a temperatura do gabinete caía em, no máximo, 6 °C. enquanto a pressão do evaporador subia, estabilizava-se em cerca de 4 a 5 bar e não se reduzia. Em certa ocasião, devido a um acidente durante a operação, o gerador absorvedor sofreu um impacto. Notou-se imediatamente um som similar a um assobio vindo do protótipo, a pressão caiu subitamente de 4 bar para menos de 1 bar e ao verificar-se o gabinete o evaporador estava coberto de gelo, pois a temperatura caíra para cerca de -20 °C.

Ao pesquisar as causas do fenômeno verificou-se que a massa específica da solução aquosa de amônia varia de forma inversa à concentração, conforme tabela 3.1. Dessa forma a amônia absorvida forma solução rica que permanece na superfície, impedindo a continuação da absorção, apesar da concentração média da solução ser reduzida. Os ensaios do primeiro protótipo prosseguiram, mas depois desse fato observado o gerador-

absorvedor passou a ser constantemente agitado. Somente dessa forma puderam ser obtidos os valores constantes do apêndice 3.1.

Tabela 3.1 – Massa específica em função da concentração da solução de água-amônia.

Concentração [%]	Massa específica [g/l]
8	970
16	974
32	889
50	832
75	733
100	618

Fonte: Kirk e Othomer, 1991.

3.3.3 – Fluxo descendente do refrigerante no evaporador.

O uso de fluxo descendente de refrigerante no evaporador se mostrou equivocado, pois com a evaporação o fluido tem sua massa específica diminuída. Dessa forma pode-se perder parte do fluido na fase líquida que se dirige diretamente ao absorvedor, enquanto a parte superior do trocador fica ocupada por vapor de amônia, diminuindo a área útil de troca de calor.

No ciclo Electrolux o fluxo descendente deve ser empregado, pois naquele caso o gás inerte tem sua massa específica aumentada com o resfriamento, o que possibilita sua circulação, pois na seqüência esse gás entra no absorvedor onde é aquecido de forma a manter seu fluxo.

3.4 - Construção do Segundo Protótipo

O segundo protótipo construído teve a finalidade de permitir coletas de dados que possibilitem avaliar o desempenho do sistema proposto e comprovar a exatidão de uma metodologia de dimensionamento. O segundo protótipo foi construído com recursos da FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.

3.4.1 - O condensador e o evaporador

O condensador e o evaporador, tipo casco e tubo, foram construídos em tubo de aço schedule 80 com diâmetro nominal de ½” (diâmetro interno de 24,3 mm e espessura de 4,4 mm). Foram usados 10,6 m de tubos para a confecção do condensador e 5,6 m, para o evaporador, os quais foram dobrados a quente de forma a construir-se uma espiral com diâmetro de 100 mm. Essa espiral foi colocada dentro de um tubo de PVC para esgoto com diâmetro nominal de 6” (120 mm) com comprimento de 0,65 m para o evaporador e 0,37 m para o condensador. Fotos do condensador e evaporador são mostradas nas figuras 2.5 e 2.6.

As extremidades dos tubos de PVC foram fechadas com tampões, os quais haviam recebido duas perfurações cada; uma para a passagem do tubo interno do condensador e outra para a instalação de um engate para mangueira de água. Um engate para mangueira em aço teve uma arruela a ele soldada de forma a aumentar sua área e permitir a colagem ao tampão por meio de resina epoxi (Durepoxi). O tubo interno de aço foi fixado e vedado da mesma maneira.

3.4.2 – Gerador-absorvedor

Os geradores-absorvedores foram construídos a partir de botijões de GLP com capacidade para 2 kg. Foi removida a válvula original e na estrutura da qual a válvula é fixada foram soldados niples de 1 e 1/2" para fixação ao restante do equipamento, evitando-se um recorte no botijão original. Também foi introduzido um tubo com a extremidade soldada para permitir a instalação de um termopar.



Figura 3.6 -Foto do gerador-absorvedor (segundo protótipo)

Em volta dos geradores absorvedores foi soldado um tubo de latão para promover o resfriamento rápido do gerador absorvedor, resfriá-lo durante a absorção e caso fossem usados dois geradores-absorvedores, promover a troca de calor entre ambos, por meio da circulação de água. O gerador-absorvedor é ilustrado na figura 3.6.

3.4.3 – Retificador

A tubulação que interliga os geradores-absorvedores ao condensador e ao evaporador, construída em tubo de aço schedule 80 com diâmetro nominal de 1/2", foi aletada, por meio da fixação de arruelas através de brasagem, de forma a proteger as válvulas do superaquecimento e, no caso da tubulação que dá acesso ao condensador, servir como retificador. Esses dois tubos foram fixados a uma luva de 1 e 1/2" construída em aço carbono, previamente escariada no diâmetro desses tubos. Ao tubo vindo do evaporador foi adaptado um tubo mais fino para conduzir a amônia para o fundo do gerador-absorvedor, reduzindo o efeito da variação da massa específica em função da concentração da solução. Na figura 3.7 são ilustrados os retificadores.



Figura 3.7 - Foto dos retificadores.

3.4.4 – Válvulas.

Inicialmente foi construído em sistema com dois geradores-absorvedores e fluxo de refrigerante comandado por quatro válvulas solenóide de fabricação Ascoval modelo 8523-43. Mas tais válvulas não tinham capacidade de retenção, causando perda de pressão no condensador e inundação do evaporador.

Uma solução tentada foi o uso de válvula de retenção para amônia de fabricação Eika. Duas dessas válvulas vieram trocadas, sendo todas destinadas a aplicação em



Figura 3.8 – Vista do sistema de válvulas solenóide.

soluções na fase líquida. Duas delas foram trocadas para válvulas que trabalham com vapor, mas os problemas persistiram.

A solução por fim adotada foi o uso de válvulas de esfera com comando manual de fabricação Valmicro. Abriu-se mão do sistema com dois geradores absorvedores, pois a possibilidade de operação indevida cresceria bastante, e também do sistema válvulas com comando por software. A única válvula que se manteve com comando elétrico foi a válvula de expansão. As figuras 3.8 e 3.9 ilustram o equipamento com as válvulas solenóide e a figura 3.10, ilustra a o equipamento após a adoção de válvulas de esfera.

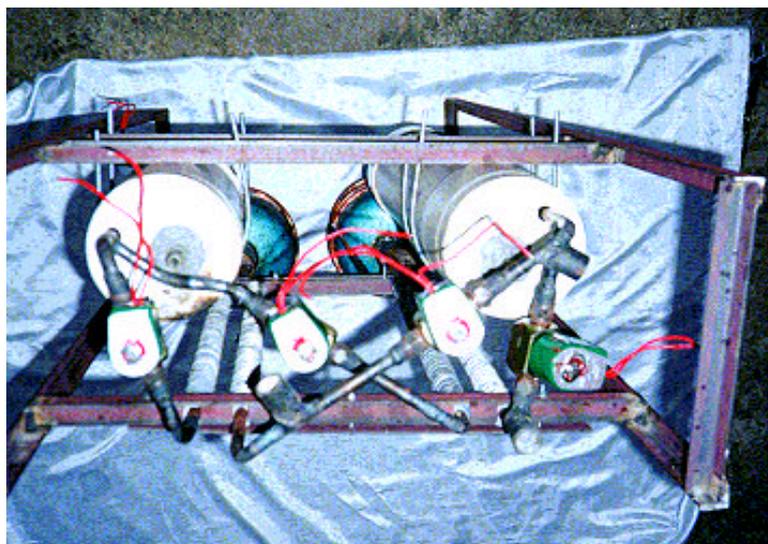


Figura 3.9 – Vista do sistema de válvulas solenóide.

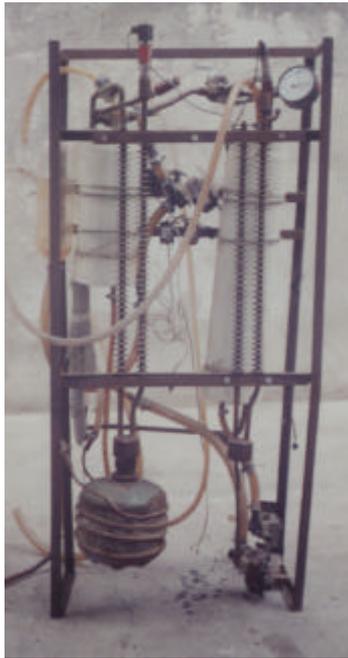


Figura 3.10 – Vista do sistema com válvulas de esfera.

3.4.5 – Aquecimento

O aquecimento do sistema foi realizado por meio de três resistores de 400 W cada. Dessa forma foi possível, com o uso de um Watihorímetro, avaliar a energia fornecida. Foi montada uma carenagem em aço com tampa e revestimento de 1,2 mm em amianto.

3.4.7 – Solução aquosa de amônia

Foi adquirida em lojas de produto para tinturaria solução aquosa de amônia com concentração de 30%.

3.4.8 – Circulação de água no condensador.

O condensador é resfriado por um fluxo ascendente de água com circulação forçada promovida por uma bomba modelo 31EDB170014 de fabricação Eberle usada originalmente em lavadora de louças, a qual está situada antes do condensador, sendo que nesse ponto de ligação foi instalado um termorresistor para aquisição de dados,. A água que sai pelo topo do trocador é encaminhada a um funil, onde sua temperatura é medida por outro termorresistor. Da saída do funil a água desce até um reservatório de onde será novamente bombeada. No ponto de descida do funil é possível avaliar a vazão da água por amostragem, e dessa maneira avaliar o calor trocado no condensador. O esquema do circuito de circulação de água no condensador é ilustrado na figura 3.11.

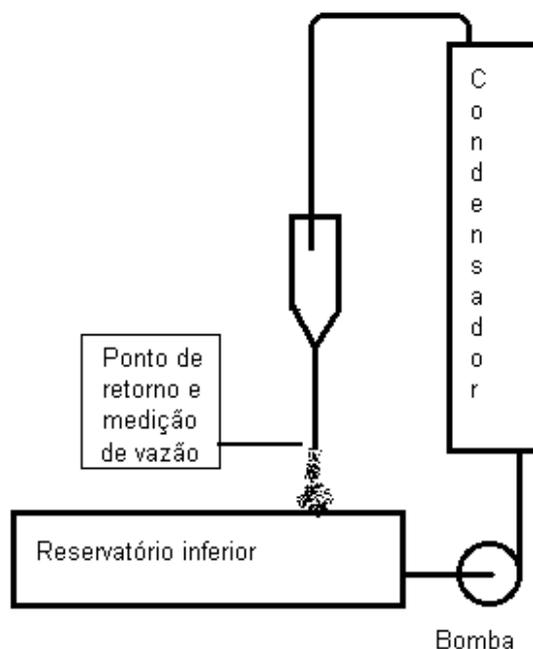


Figura 3.11 – Esquema do circuito de circulação de água pelo condensador.

3.4.9 – Circulação de água no evaporador.

O evaporador possui um sistema de circulação de água em ciclo fechado, ilustrado pela figura 3.12, ou seja a água circula por dentro do evaporador com circulação forçada por uma bomba modelo 31EDB170014 de fabricação Eberle usada originalmente em lavadora de louças. Saindo do evaporador a água passa por um ponto de medida de temperatura, por meio de um termorresistor e retorna ao evaporador. A avaliação do calor trocado é feita pelo cálculo da energia necessária para:

- 1) O resfriamento da água contida no circuito do evaporador;
- 2) do calor transferido pela parede do trocador e
- 3) da potência fornecida pela bomba.

O resfriamento da massa de água é avaliado por:

$$Q = m c \Delta T \quad (3.1)$$

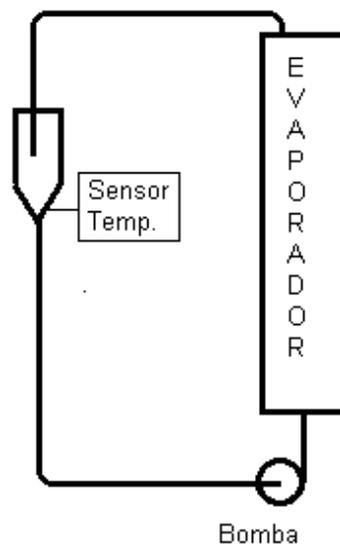


Figura 3.12 – Esquema do circuito de circulação de água pelo evaporador

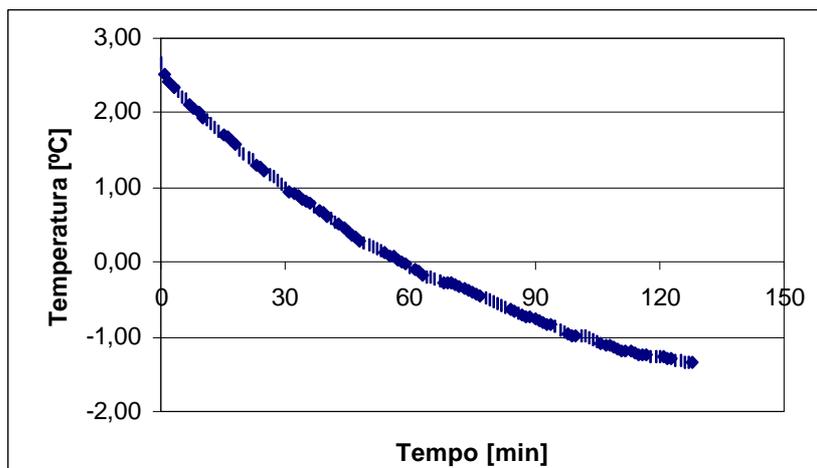


Figura 3.13 – Variação da diferença entre a temperatura da água do evaporador e o ambiente, em função do tempo.

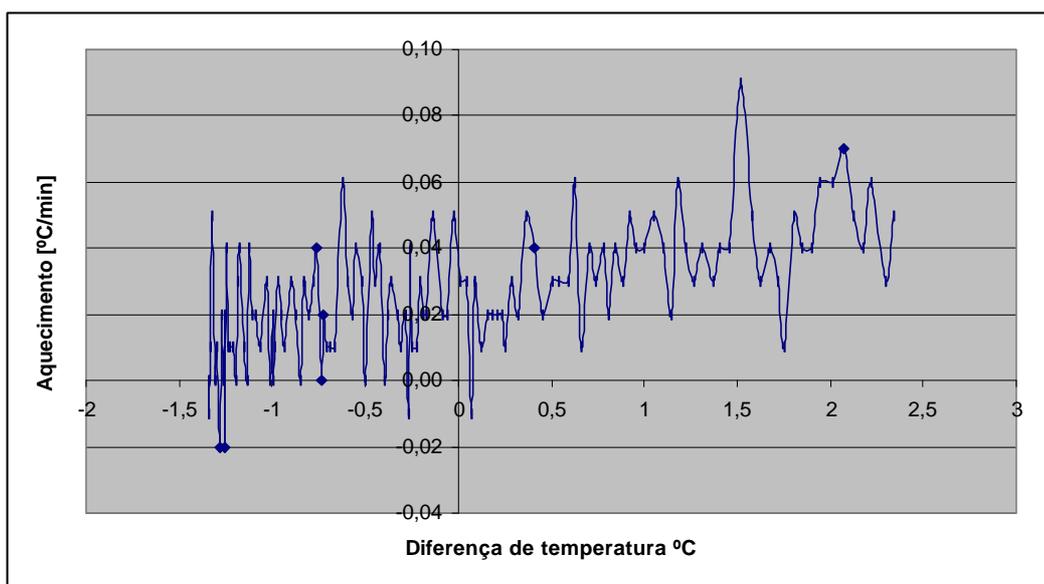


Figura 3.14 – Troca de calor em função da diferença entre a temperatura da água do evaporador e do ambiente.

O calor transferido pelas paredes do sistema e o calor recebido da bomba foram avaliados experimentalmente. Foi elaborado um gráfico da diferença de temperatura entre a água e o ambiente em função do tempo, mostrado na figura 3.13. Esse experimento foi feito

colocando-se água à temperatura de 20 °C, acionando a circulação de água e registrando a temperatura, à medida que a água se aqueceu.

A partir desse gráfico foi elaborada a relação da taxa de transferência de calor em função da diferença de temperatura entre a água e o ambiente, exibido na figura 3.14. Para tanto foi aplicada a equação 3.1 para avaliar a troca de calor cada vez que a temperatura da água variava de 0,1 °C.

3.4.10 – Circulação de água no gerador-absorvedor

O evaporador possui um sistema de resfriamento por circulação de água em ciclo fechado, ou seja, a água circula pelo tubo soldado ao gerador absorvedor com circulação forçada por uma bomba modelo 31EDB170014 de fabricação Eberle usada originalmente em lavadora de louças. Não existe medição da temperatura da água, pois a mesma seria inútil sem um sistema adequado de medição de vazão.

3.5 – Sistema de Controle e Aquisição de Dados.

Foi montado um sistema de controle, baseado em duas placas de entrada e saída de aquisição de dados e um programa em Delphi, e um sistema de aquisição de dados, baseado em duas placas de fabricação Picotech. Ambos sistemas foram instalados em um microcomputador modelo 486 com 33 MHz. A figura 3.2 ilustra os pontos, cujos dados são monitorados.

3.5.1 – Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados foi montado com equipamentos fabricados pela empresa britânica Picotech. Duas placas externas foram instaladas, uma modelo TC 03, com capacidade para três termorresistores tem exatidão (accuracy) de $\pm 0,2$ °C, e outra, modelo TH 08 Com entrada para 8 termopares e exatidão (accuracy) de $\pm 0,5$ °C. Essas placas externas foram ligadas nas saídas tipo serial do microcomputador. Devido a problemas com a placa que controla as portas COM 3 e COM 4, só puderam ser usadas as saídas COM 1 e COM 2, implicando o desligamento do mouse e uso das opções de acessibilidade do Windows 95, a qual permite o comando do computador exclusivamente pelo teclado.

Tabela 3.2 - Pontos com dados monitorados do sistema.

POSIÇÃO	GRANDEZA	TRANSDUTOR
Gerador-absorvedor	Temperatura	Termopar - Tipo J
Gerador-absorvedor	Pressão	0 a 12 bar
Condensador	Pressão	1 a 15 bar
Ambiente	Temperatura	Termorresistor
Água (condensador)	Temperatura	Termorresistor
Água (evaporador)	Temperatura	Termorresistor
Circuito de água	Vazão	Amostragem

Os termorresistores foram instalados nos seguintes pontos:

- 1) Entrada de água no condensador.

- 2) Saída de água no condensador durante a fase de aquecimento ou temperatura ambiente durante a refrigeração da carga;
- 3) Temperatura da água no evaporador durante a refrigeração da carga ou temperatura ambiente durante a fase de aquecimento do gerador-absorvedor.

Os canais de termopares disponíveis foram usados para:

- 1) Temperatura ambiente.
- 2) Temperatura do gerador absorvedor.
- 3) Temperatura dentro da câmara de aquecimento do gerador-absorvedor.
- 4) Pressão no condensador
- 5) Pressão no gerador-absorvedor.

Foram usados dois transdutores de pressão, um com capacidade de medição de 0 a 15 bar para medição da pressão do condensador e outro na faixa de -1 a 12 bar para medição da pressão no evaporador-absorvedor.

O programa para a aquisição de dados, denominado Picolog, é fornecido pela própria Picotech e os dados por ele adquiridos são transcritos para a planilha Microsoft Excel.

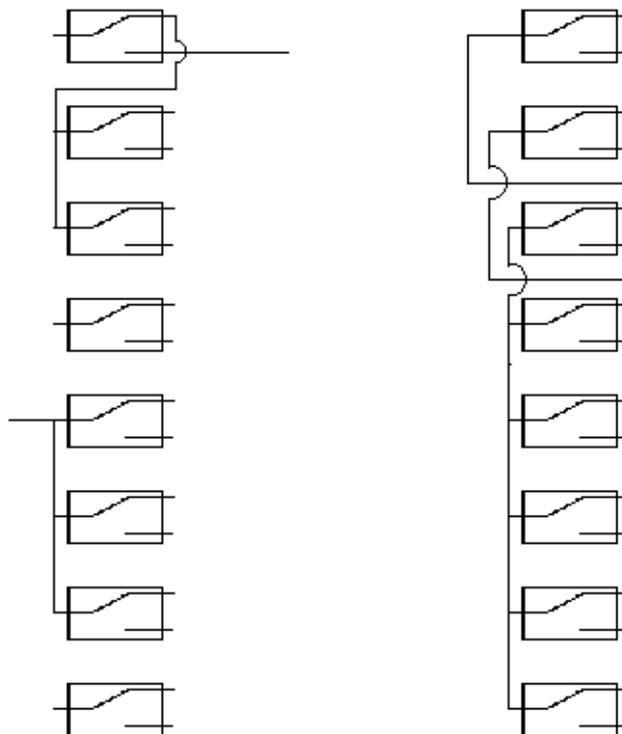


Figura 3.15 – Esquema de ligação dos relés

3.5.2 – Sistema de controle – Ligações elétricas

O controle dos componentes elétricos do segundo protótipo deveria ser feito por duas placas com 8 relés com contatos reversíveis cada. As ligações desses relés, cujo esquema é ilustrado na figura 3.15, possuem diversos bloqueios elétricos, ou seja o terminal comum de um relé é energizado a partir de um terminal normalmente aberto ou normalmente fechado de outro relé, de forma a condicionar a operação do primeiro e do segundo. Dessa forma diminui-se a possibilidade de operação simultânea de componentes

que não deveriam operar nessa condição. Os bloqueios elétricos existentes no sistema constam na tabela 3.3.

Tabela 3.3 Relação dos bloqueios elétricos existentes no sistema.

RELÉ ATUADO	RELÉ BLOQUEADO
Válvula de expansão	Válvulas dos condensadores
Relé de segurança	Abertura simultânea das 2 válvulas do evaporador ou do condensador
Válvulas do evaporador	Resistores

3.5.3 – Sistema de controle – Programa

Foi elaborado um sistema de controle por meio de um programa em Delphi. O comando é feito por um painel, ilustrado na figura 3.16, o qual foi criado por um programa em Delphi.

O programa de controle, listado no Anexo B, possui bloqueios que impedem os seguintes eventos que poderiam causar problemas durante a operação:

- 1) Abertura simultânea das válvulas de entrada e saída de um mesmo gerador-absorvedor.
- 2) Circulação de água por um gerador-absorvedor em fase de aquecimento.
- 3) Abertura da válvula de expansão com as duas válvulas de saída do evaporador fechadas.

4) Aquecimento de um gerador cuja válvula de retorno do evaporador esteja aberta.

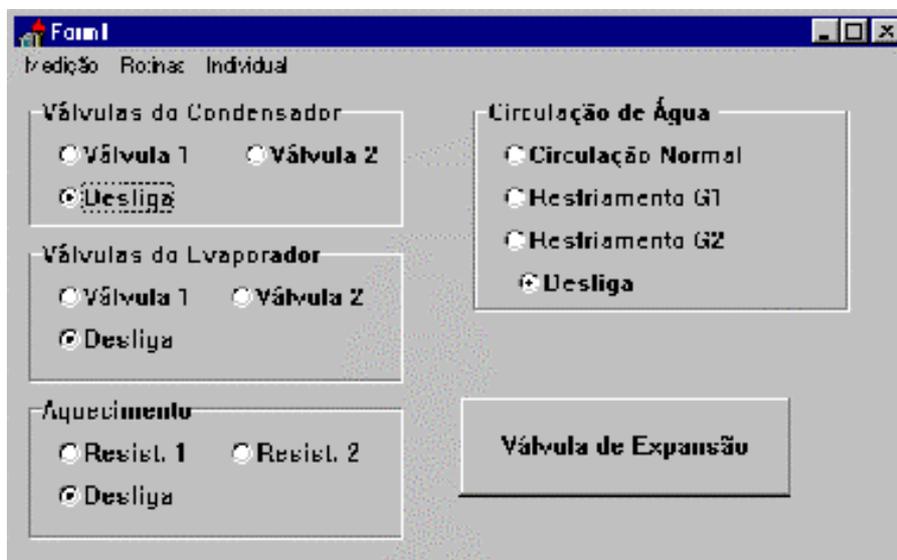


Figura 3.16 – Painel de controle do equipamento

Este sistema de comando foi usado nos primeiros ensaios do primeiro protótipo, tendo acionado as bombas, válvulas e relés da forma prevista. Entretanto, problemas como retenção de vapor pelas válvulas solenóides levaram à desativação de parte do sistema e substituição das válvulas solenóides por válvulas manuais de esfera.

3.6 Fenômenos Observados na Operação do Segundo Protótipo

3.6.1 – Inundação do evaporador.

O retorno do evaporador é feito por uma tubulação imersa no gerador absorvedor para evitar os problemas oriundos da variação da massa específica com a concentração da solução de água e amônia. Devido ao princípio dos vasos comunicantes, a abertura indevida

da válvula de retorno do evaporador com a pressão do gerador-absorvedor elevada, causa um refluxo de solução de água-amônia que leva à inundação do evaporador pela solução.

3.6.2 – Condensação de água

Existe um limite para a concentração da solução pobre. Esse limite é dado pela concentração de água no vapor. Caso a quantidade de vapor de água seja superior à capacidade de condensação do retificador, a condensação dessa água ocorrerá no condensador. Observou-se que no ciclo posterior à ocorrência desse fenômeno o sistema passa a operar de maneira irregular, ou seja, a condensação passa a ocorrer em pressões mais elevadas que a pressão de condensação usual e geralmente acima da pressão máxima admissível pelo equipamento. O sistema passa a operar normalmente após a drenagem do condensador.

4 – RESULTADOS DA MEDIÇÕES

4.1 Sistema de Aquisição de Dados

4.1.1 - Primeiro protótipo:

A coleta de dados do primeiro protótipo foi feita de forma manual, à partir de dados obtidos por meio de termômetros de mercúrio com exatidão de $\pm 0,5$ °C, termômetros bimetálicos com exatidão de ± 5 °C e um medidor de pressão mecânico ± 5 PSI. Além disso as características da montagem tornaram bastante difícil a avaliação da perdas ocorridas. Por essa motivo esses dados não foram usados nas análises aqui apresentadas.

4.1.2 - Segundo protótipo

No segundo protótipo foram usados equipamentos eletrônicos de aquisição de dados objetivando maior exatidão das medições. Foram usados seguintes equipamentos

4.1.2.1 Dados referente à temperatura

Para a aquisição de dados referentes à temperatura e pressão foram usados os sistemas de TH-03 e TC-08 de fabricação da empresa britânica Picotech. Ao aparelho TH-03 foram ligados 3 termorresistores, para medição de valores entre -0°C e 70°C com exatidão (accuracy) de $\pm 0,2$ °C. Ao aparelho TC-08 foram ligados termorresistores tipo K, com os quais apresentam é possível se obter a resolução de $0,025$ °C para a faixa de

temperaturas situada entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+1150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Apesar da boa resolução, a exatidão (accuracy) é de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Devido as diferenças de exatidão o aparelho TH-03 teve seu uso reservado para avaliar a temperatura da água, a qual apresentava variações menos significativas. O TC-08 destinou-se a medir temperaturas com as maiores variações, como a temperatura da caranagem do gerador-absorvedor e do próprio gerador-absorvedor. Devido a exatidão dos aparelhos, as medidas de temperatura somente são exibidas com uma casa decimal.

Os termorresistores foram calibrados de forma a lerem a mesma temperatura quando inseridos em um copo com água. Os termopares foram calibrados na temperatura do ambiente.

4.1.2.2 Dados referentes à pressão

As medidas de pressão foram feitas por meio de transdutores de pressão os quais forneceram sinal para a entrada de 0 a 60 mV do aparelho TC-08. A entrada de 0 a 60 mV possui exatidão de 0,4%. Todavia como não foram encontrados transdutores de pressão com saída nessa faixa de tensão, optou-se pelo uso de transdutores com saída de 4...20 mA alimentados por uma fonte com regulador MC7824CT, a qual fornece tensão de 24 VCC $\pm 2\%$, e ligados em série a um resistor de 3 Ohms $\pm 0,5\%$. Foram usados dois transmissores de pressão: Um com saída para leitura de 0 a 200 PSI (13,76 bar) e outro de -1 a 12 bar . Desta forma a conversão do valor lido em mV para valor da pressão correspondente é feito por:

$$\text{Transdutor 0 a 200 PSI: Pressão [bar]} = 3,4475 \text{ VL} - 17,7900$$

$$\text{Transdutor } -1 \text{ a } 12 \text{ bar : Pressão [bar]} = 3,2500 \text{ VL} - 17,0400$$

Como o valor lido (VL) está sujeito a 0,4% de erro da placa de aquisição de dados, 0,5% de tolerância do resistor, 2,0 % de flutuação de tensão da fonte de alimentação e 0,25% de exatidão do transdutor; o erro total é avaliado em 4,4%. Como consequência o valor lido apresentará um erro de 4,4%, ou seja o valor da pressão terá uma exatidão de +/- 0,53 bar. Devido a isso os valores de pressão são expressos com uma casa decimal.

4.1.2.3 Medição da potência de aquecimento

A medição da energia fornecida aos resistores de aquecimento foi feita com um quiwatthorímetro com duas casa decimais. Com o fabricante não especificou a exatidão do medidor, supôs-se que sua precisão seja de metade da última casa. Como os valores medidos foram na ordem de 2 kWh a precisão da leitura foi de cerca de 2%. Neste trabalho como fora medido apenas a energia total consumida, assumiu-se que a potência fornecida tenha sido constante.

4.1.2.4 - Programa para aquisição de dados

O programa de aquisição e tratamento de dados usado foi o Pigolog fornecido pela própria Picotech. O programa oferece a opção de filtragem de dados afetados por ruídos elétricos, essa opção foi desativada. Oferece também a opção de armazenar o valor médio das leituras de um dado intervalo. Como foi feita uma leitura a cada 5 segundos e é lido um dados a cada 0,8s por canal instalado, optou-se pela exibição do valor não corrigido pela média. Os valores de temperatura foram coletados em Graus Celcius e os de pressão em mV. Posteriormente os dados coletados foram transferidos para a Planilha Excel na qual

tiveram a quantidade de casas decimais ajustadas à precisão oferecida pelo sistema e, no caso dos valores referentes à pressão, tiveram suas unidades convertidas.

4.2 – Dados Adquiridos

Após a preparação do protótipo, conforme descrito no anexo C, foram realizados 6 ensaios. As etapas desses ensaios foram classificadas em fase de geração do vapor, fase de resfriamento da gerador-absorvedor e fase de refrigeração da carga. O resultado de cada etapa foi comparado com o previsto pela planilha de dimensionamento.

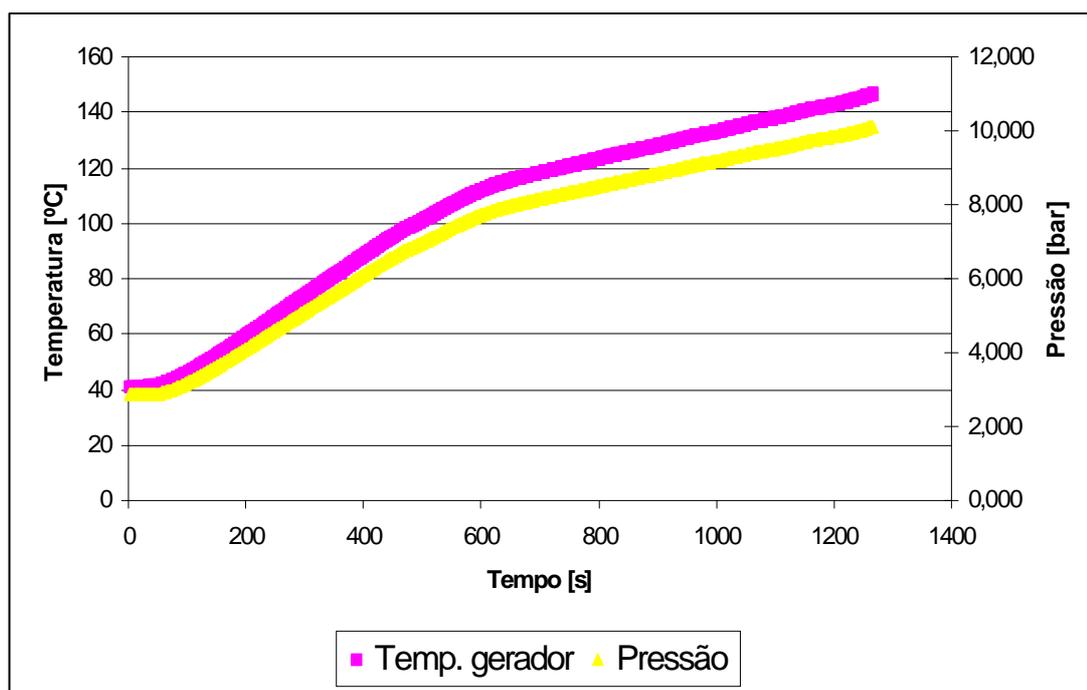


Figura 4.1 – Pressões e temperaturas verificadas na fase de geração de vapor:

Durante a fase de geração foram medidas as seguintes variáveis:

- Pressão do sistema

- Temperatura da solução de água e amônia
- Temperatura da câmara de aquecimento
- Temperatura da água do condensador
- Temperatura ambiente

Os dados relativos a uma coleta típica são exibidos no apêndice 4.1 e alguns deles são representados nas figuras 4.1 e 4.3. A partir desses dados primários foram calculados os seguintes dados secundários:

- Diferença entre temperatura ambiente e temperatura da câmara de aquecimento.
- Concentração da solução água-amônia, avaliada por meio de tabelas.

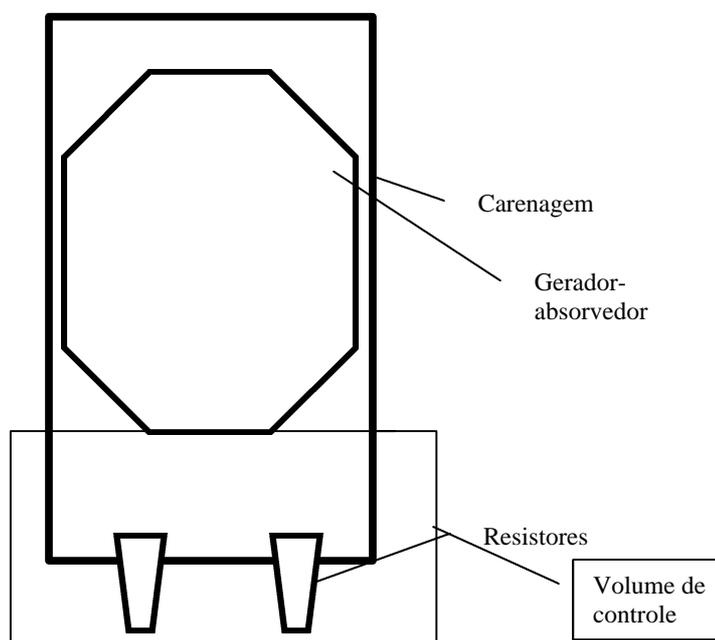


Figura 4.2 – Croqui do gerador-absorvedor com carenagem.

Os dados relativos à diferença entre temperatura ambiente e temperatura da câmara de aquecimento, associados à potência dos resistores de aquecimento permitem calcular a potência transferida ao fluido. Para tanto considerou-se que o sistema de aquecimento fosse como o representado na figura 4.2. As paredes da carenagem do volume de controle são revestidas com 9 mm de amianto em folha, cobrindo a área de $0,102 \text{ m}^2$. Na parte superior do volume de controle encontra-se o gerador-absorvedor. As perdas pela parte superior do gerador-absorvedor foram desconsideradas devido à camada de ar confinado existente acima do gerador-absorvedor e a baixa diferença de temperatura entre a parte interna a chapa de aço que reveste a carenagem, pois a mesma já foi aquecida pelos resistores. Dessa forma a taxa de calor fornecido ao fluido foi calculado pela equação 4.1:

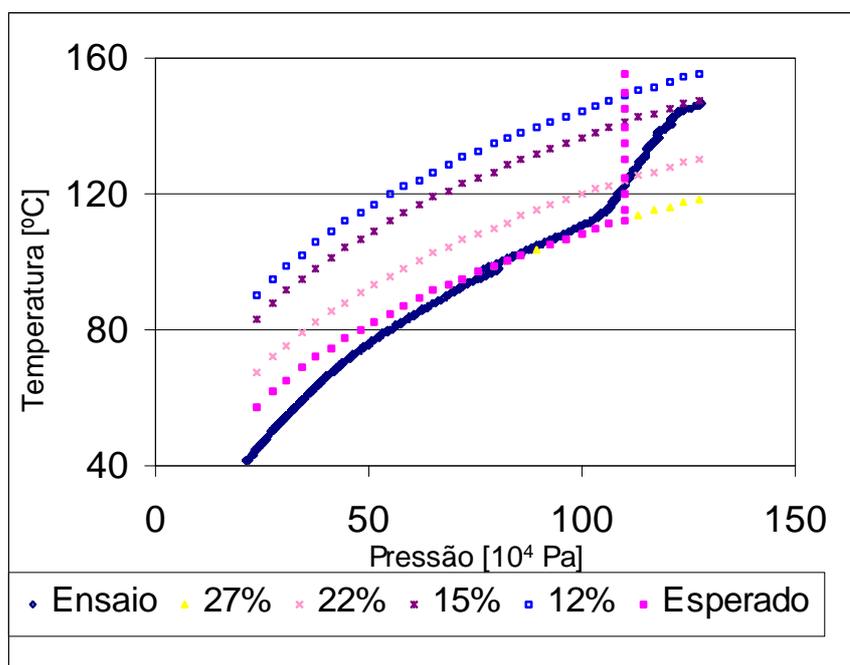


Figura 4.3 – Comparação das pressões e temperaturas verificadas com as previstas para concentrações de 12%. 15% 22% e 27%.

$$Q = P_{\text{resist}} - K_{\text{car}} A \Delta T \quad (4.1)$$

P_{resist} = Potência fornecida pelo resistor (1012W)¹.

$U A = 1,936 \text{ W/K}$, supondo a área de paredes de $0,102 \text{ m}^2$, revestidas com 9 mm de amianto.

ΔT = Diferença entre a temperatura do interior da carenagem e a temperatura ambiente (considerando 230°C , baseado em 4 medidas de temperatura na parte inferior da câmara nas quais se obteve a média de 255°C).

Dessa forma, da potência total do resistor de 1012W, foi transferida ao ambiente a potência avaliada em 445W e 556 W foram transferidos para a solução de água e amônia.

4.3 – Etapas do Aquecimento do Gerador-absorvedor

Os dados referentes à temperatura e pressão foram rearranjados em um gráfico de dispersão. Dessa forma podem ser observadas 3 etapas distintas, conforme mostrado na figura 4.3:

A) Etapa de pré-aquecimento: Ocorre a pressões inferiores a 5 bar. Nessa etapa a pressão e temperatura da solução variam do estado inicial até um estado com concentração de até 27% de amônia. Nessa etapa os valores de pressão e temperatura correspondem a concentrações superiores à concentração da solução que está armazenada no gerador-

¹ Calculado pelo quociente da energia fornecida (1,78 kWh) pela duração da fase de aquecimento (6335 s)

absorvedor. Os valores da concentração admissível vão se reduzindo aproximando-se do valor da concentração real da solução.

- B) Etapa de elevação da pressão: Nota-se nesse estado a elevação da pressão sem grandes variações de concentração, a qual varia de 27% até cerca de 22%. Considera-se encerrada esta etapa no instante em que a pressão de condensação da amônia é atingida. Nesse ponto pode-se observar uma repentina mudança de inclinação da curva que representa a concentração da solução.
- C) Etapa de condensação da amônia. Nesta etapa a amônia passa a condensar-se e observa-se uma queda da concentração da amônia mais rápida e com pequenas variações de pressão. A pressão aumenta em cerca de 2 bar, mas esse aumento deve-se principalmente ao aquecimento da água de resfriamento, que circula em circuito fechado, e à própria variação da temperatura de condensação, verificada à medida que o condensador se aquece.

4.4 – Fase de Refrigeração da Carga.

Na fase de refrigeração foram avaliados os seguintes parâmetros

- Temperatura da água do evaporador
- Temperatura ambiente
- Pressão no condensador
- Pressão no gerador-absorvedor

Nessa fase existe a necessidade de avaliar a troca de calor ocorrida no evaporador, o que não pode ser feito de forma direta. Para estimar essa troca, foi adotada a metodologia a seguir:.

O evaporador recebe calor de 4 fontes principais:

- 1) água a resfriar,
- 2) da bomba de circulação,
- 3) das trocas de calor entre a carcaça do evaporador e a atmosfera e
- 4) calor trocado na tubulação exposta ao ambiente entre a válvula de expansão e o evaporador .

A energia consumida para resfriar ao 5,5 kg de água contidos no evaporador é dada pela equação 4.2:

$$Q = m \ c \ \Delta t_{\text{água}} \quad (4.2)$$

O calor transferido pela bomba e perdido pelas paredes do evaporador foi avaliado experimentalmente. O evaporador foi abastecido com água fria, a bomba foi ligada e foram anotados dados de temperatura da água e do ambiente em função do tempo. Os valores encontrados constam do apêndice 4.2 e são ilustrados na figura 3.13. Foi então avaliado o aumento de temperatura no intervalo de tempo de um minuto e anotada a diferença média entre a temperatura do líquido e do ambiente nesse minuto. Com esses dados foi construído o figura 3.14. na qual é mostrado o aquecimento no intervalo de um minuto, em função da diferença de temperatura da água e do ambiente externo.

Dessa forma, e sabendo-se a massa de água contida no evaporador, foi possível avaliar o calor trocado com o meio externo em função da diferença de temperatura entre a água e o ambiente, o que é dado pela equação 4.3

$$Q = 10,0 + 24,1 \Delta t_{\text{água}} \quad (4.3)$$

Esses valores podem ser subdivididos, sendo que o valor da constante pode ser atribuído à energia fornecida pela bomba e a parte variável, em função da diferença entre a temperatura ambiente e a da água do evaporador, pode ser associada às perdas pelas paredes do sistema de circulação de água.

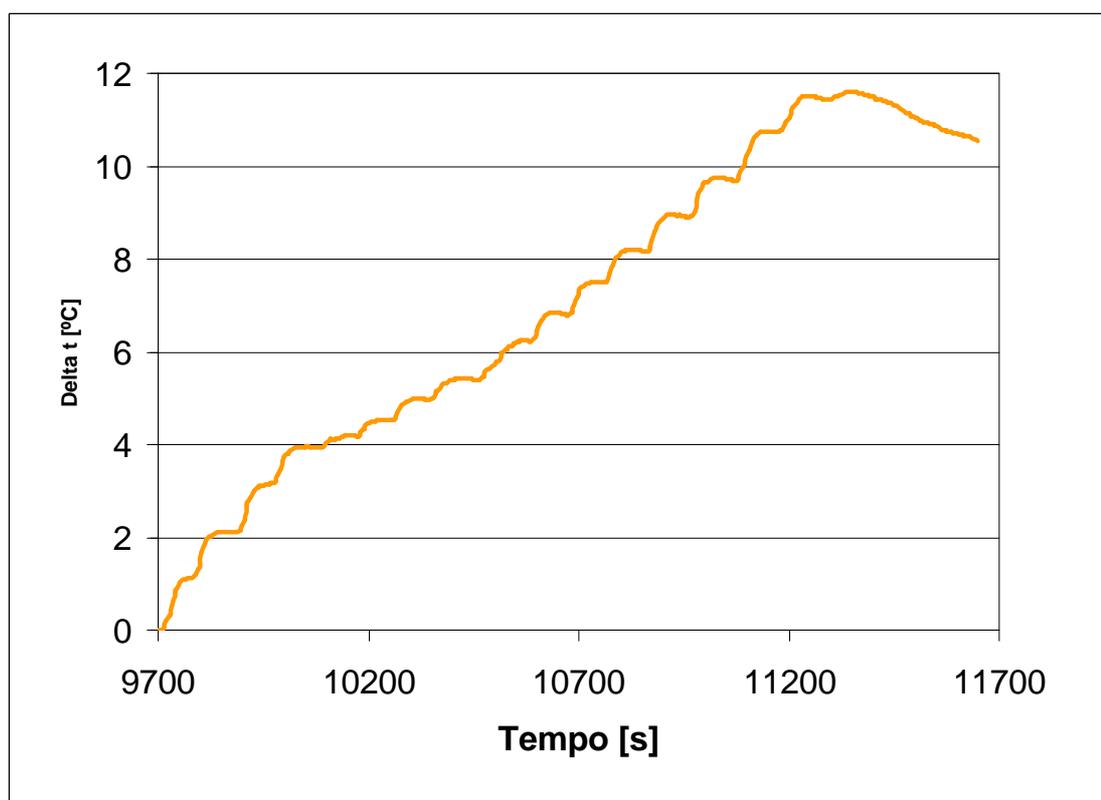


Figura 4.4 – Diferenças de temperatura durante a refrigeração da carga.

A troca de calor através das partes metálicas não foi avaliada, mas foi reduzida por meio de isolamento térmico, feito com uso de um revestimento de espuma de poliuretano colocada sobre as partes expostas da tubulação.

Com essa metodologia foram construídos os gráfico exibidos nas figuras 4.4 e 4.5 que mostram as pressões do condensador e do evaporador, a temperatura da água do evaporador e a potência transferida pelo evaporador a cada instante.

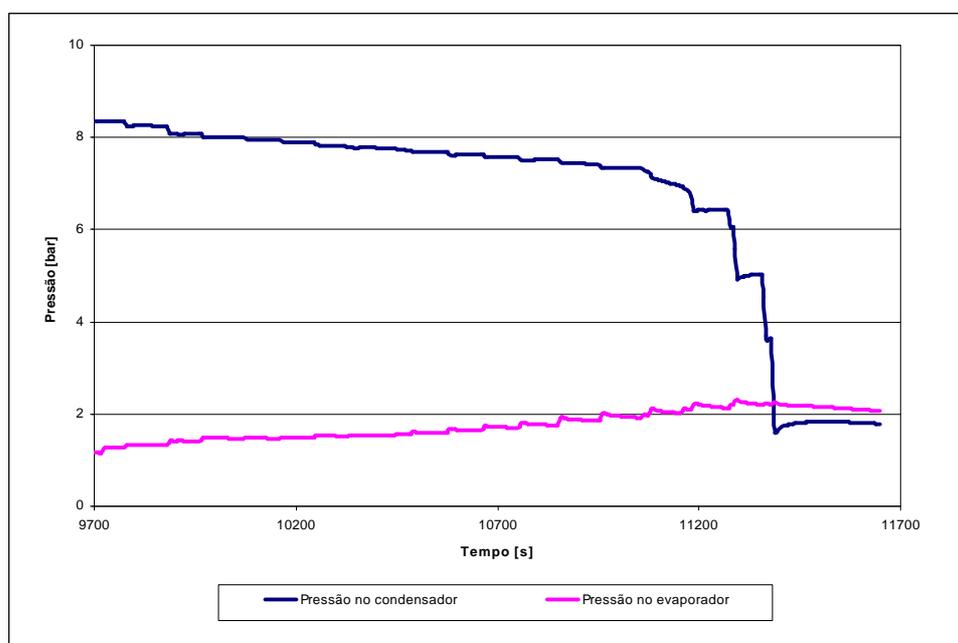


Figura 4.5 – Pressões durante a refrigeração da carga.

A válvula de expansão foi operada de forma a manter a temperatura da água sempre decrescente, ou seja, a válvula foi acionada por um curto intervalo de tempo, após o qual notava-se o declínio da temperatura da água. No instante em que um aumento dessa temperatura era observado dava-se um novo pulso na válvula de expansão.

Dessa forma a diferença de temperatura sempre aumentou, até o instante em que o estoque de amônia no condensador foi consumido, o que pode ser observado pelo rápido declínio da pressão no condensador por volta do instante 11.400 s. Observa-se que antes deste instante a pressão cai de forma bastante lenta devido à existência de amônia na fase líquida no condensador.

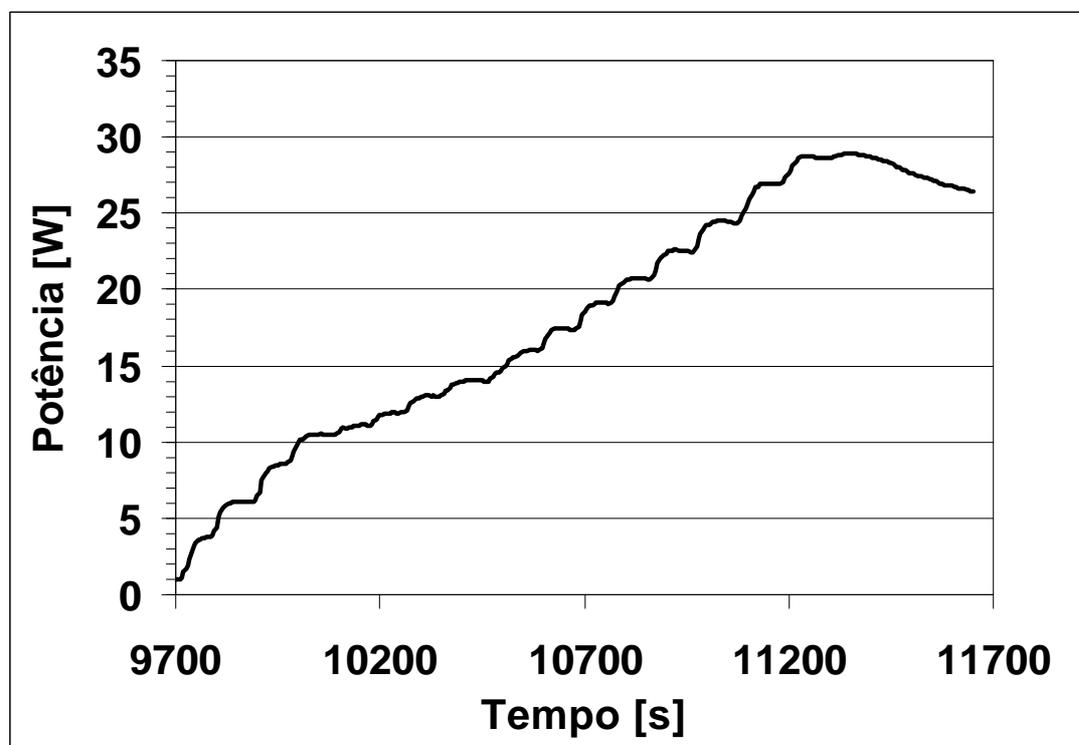


Figura 4.6 – Potência trocada no evaporador

A pressão do evaporador apresentou-se crescente, mas manteve-se em valores próximos a 1 bar. Isso mostrou a eficiência do sistema de retorno do evaporador submerso no gerador-absorvedor, associado ao sistema de resfriamento do gerador-absorvedor por meio de circulação de água. Embora não tenham sido avaliadas as trocas de calor no

gerador-absorvedor, a sua temperatura subiu de 36°C para cerca de 46°C. Uma limitação importante verificada no equipamento construído foi o uso de circulação de água em circuito fechado, que prejudicou tanto o resfriamento do gerador-absorvedor, como a refrigeração da carga.

A curva referente à potência transferida não se relaciona com a potência transferida pelo fluido refrigerante, mas sim à potência trocada com o meio. A potência transferida pelo fluido provavelmente apresentaria uma rápida elevação no momento da abertura da válvula, seguida de uma redução exponencial enquanto essa amônia se evapora. Haveria uma seqüência dessas curvas com valores decrescentes à medida que o gerador-absorvedor tem a sua capacidade de absorção diminuída. A curva mostrada na figura 4.4 representa a soma do calor transferido ao ambiente, à água e pela bomba de circulação.

A energia transferida no evaporador pode ser estimada pela equação 4.4.

$$E = \int P dt + \text{Energia transferida à água} \quad (4.4)$$

Dessa forma a energia total transferida foi de 0,104 kWh, sendo 0,098 kWh trocados com o meio e com a bomba de circulação e 0,006 kWh usados para resfriar os 5,5 kg de água de 20 °C para 8 °C.

Como o consumo de energia para aquecimento foi de 1,78 kWh tem-se um C.O.P., dado pela razão da energia útil pela energia consumida, de 0,059. Considerando que na fase de aquecimento apenas 0,978 kWh foram transferidos ao fluido, sendo que restante se perdeu pelas paredes do aquecedor, o C.O.P., considerando a energia efetivamente transferida ao gerador, é de 0,107.

4.5 – Verificação dos Resultados Esperados.

Com a planilha de dimensionamento puderam ser previstos alguns valores relativos à operação do sistema. A tabela 4.1 exhibe a comparação dos valores previstos e dos valores medidos em um ensaio do protótipo. Os valores previstos foram obtidos por meio do ajuste de parâmetros sujeitos a erros de medição, de forma que os valores efetivamente medidos se aproximassem dos reais. Os valores usados como dados de entrada foram os avaliados com maior exatidão e são eles:

- Massa de amônia no gerador-absorvedor
- Concentração inicial da solução água-amônia
- Concentração final da solução água-amônia
- Duração da fase de aquecimento
- Duração da fase de resfriamento
- Pressão de condensação
- Temperatura máxima da solução

Foi necessário a construção de uma tabela com 3 colunas, uma com os valores calculados, outra com os valores medidos e uma terceira com os valores referentes à potência fornecida corrigida em função das perdas pelas paredes do sistema de aquecimento.

Nota-se que a diferença entre o valor calculado e o valor corrigido é de 3,2% em relação à potência total fornecida. Em relação a potência fornecida em cada fase os desvios

chegam a 31%, entretanto parte dessa diferença deve-se à relativa arbitrariedade na seleção do instante de transição entre elas.

Tabela 4.1 – Comparação de valores previstos e medidos.

Parâmetro	Valor calculado	Valor medido	Valor corrigido
Energia fornecida – Pré-aquecimento [kWh] (duração = 2650 s)	0,40	0,75	0,41 (+18,2%)
Energia fornecida – Elevação da pressão [kWh] (duração = 6500 s)	0,75	0,96	0,10 (+31%)
Energia fornecida – Total [kWh]	1,12	1,78	0,99 (+3,4%)
Período de aquecimento [min]	112,1	113,6	113,6
Potência de aquecimento [kW]	600	1012	556
Energia frigorífica [kWh]	0,10	0,10	0,10
C.O.P.	0,104	0,059	0,107
Concentração forte / fraca [%]	25/13,2	26,4 / 15,5	26,4 / 15,5
Temperatura final de geração [°C]	155,0	146,7	146,7
Pressão máxima [bar]	12,7	12,8	12,8
Massa de solução [kg]	3,7	3,5	3,5
Massa de amônia condensada [kg]	0,39	Não medido	Não medido

Fonte: Elaborado a partir de dados experimentais.

Analisando a tabela nota-se alguns desvios entre os valores estimados e os avaliados, os quais são apresentados a seguir, acompanhados da respectiva explicação:

- Capacidade de resfriamento. Existe um desvio devido ao isolamento do evaporador, o qual não foi quantificado.
- Potência fornecida: Tal valor foi ajustado para que o período de aquecimento real coincidissem com o avaliado. Pode-se notar que o desvio deve-se a perdas pela parede da câmara de aquecimento, conforme descrito no item 4.1.

5 – Análise de Dados e Considerações Econômicas

Para a análise do sistema serão considerados os custos de combustível e de capital e em função deles serão estudados possíveis nichos para a aplicação do sistema proposto.

5.1 – Consumo de Energia

Serão analisados neste tópico os conceitos de eficiência energética usados na análise de sistemas de refrigeração, e como esse tipo de análise pode favorecer os sistemas por compressão.

5.1.1 – Eficiência dos sistemas de refrigeração baseada no Coeficiente de Performance.

A eficiência de um sistema de refrigeração é usualmente avaliada pelo Coeficiente de Performance (C.O.P.), o qual é dado pela razão entre a energia que efetivamente resfria a carga térmica e a energia utilizada para acionar o equipamento, conforme a equação 5.1.

$$\text{C.O.P.} = \text{Energia Útil} / \text{Energia Consumida} \quad (5.1)$$

O critério de C.O.P. baseia-se na primeira lei da termodinâmica, ou seja só leva em consideração o efeito produzido e a energia consumida, sem levar em conta a origem dessa energia. Dessa forma foi comparada eletricidade retirada da tomada na casa do usuário, com a energia contida em um botijão de GLP. Esse critério desconsidera as perdas na geração, transmissão e distribuição da energia.

No caso da energia elétrica devem ser consideradas:

Rendimento na geração térmica: 40%.

Rendimento na transmissão e distribuição: 90% da energia elétrica gerada.

Considerando as duas perdas apenas 36% da energia disponível chegam à residência do consumidor, sendo o restante transformado em outras formas de energia durante os processos de geração e transmissão.

5.1.2 – Comparação da eficiência global de refrigeradores domésticos.

Baseado nesse critério criou-se, para a avaliação de refrigeradores domésticos, o conceito de Eficiência Energética, dada por energia fornecida por litro de capacidade do equipamento, conforme mostra a equação 5.2.

$$\text{Eficiência Energética} = \text{Capacidade Volumétrica} / \text{Energia Consumida} \quad (5.2)$$

Por esse critério os refrigeradores de uma porta avaliados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, em 1998, possuem eficiência energética entre 5,59 l/kWh do modelo R 280 da Electrolux e 12,79 l/kWh do modelo RC20xm fabricado pela BS Continental. Essa eficiência é definida como o volume resfriado durante o período de um mês por um kWh.

Se o único modelo de refrigerador doméstico por absorção, o modelo “Refrigerador Biplax Rural” da Consul, o qual possui volume de 210 litros e consome, segundo o Serviço de Atendimento ao Consumidor Consul, 15,2 kg de Gás Liqüefeito de Petróleo, a cada 30 dias teria a seguinte eficiência energética.

Poder calorífico do GLP: 49.161 kJ / kg

Consumo mensal de GLP¹: 15,2 kg/mês

Consumo energético mensal: 747.247,2 kJ ou 207,57 kWh

Eficiência energética: $210 \text{ l} / 207,57 \text{ kwh/mês} = 1,06 \text{ l} / \text{kwh mês}$

Pelo critério do COP, o refrigerador por absorção apresenta eficiência 5,7 vezes inferior ao pior refrigerador avaliado pelo PROCEL. Por esse critério o refrigerador por absorção teria apenas para aplicações em localidades não supridas por energia elétrica, principalmente pelo fato de não ser necessária a operação contínua de um gerador que poderia suprir um refrigerador por compressão.

Todavia, fazendo a correção dos valores avaliados pelo PROCEL pelo rendimento de 36% do sistema de geração, transmissão e distribuição de eletricidade tem-se as seguintes eficiências energéticas: 2,00 l/kWh do modelo R 280 da Electrolux e 4,60 l/kWh do modelo RC20xm fabricado pela BS Continental.

Sob esse enfoque um refrigerador por absorção acionado por GLP não chegaria a ser competitivo com os refrigeradores por compressão acionados por energia elétrica vinda da queima desse gás em uma termoelétrica, mas a diferença de eficiência de ambos passa a ser bem menos significativa que a verificada na análise anterior. No caso da eletricidade de origem hídrica não se pode quantificar o combustível gasto, mas devem ser ponderados os custos de capital necessários para construção de usinas, bem como os impactos ambientais causados tanto pelas usinas como pelas linhas de transmissão.

Nesta análise não foram feitas considerações sobre o custo durante o ciclo de vida, devido ao preço do refrigerador por absorção ser cerca de três vezes superior ao dos

¹ Fonte: Serviço de Atendimento ao consumidor Consul.

refrigeradores por compressão devido, principalmente, a economias de escala. Por esse motivo esta análise restringiu-se à comparação da eficiência energética.

5.1.3 – Eficiência do equipamento proposto.

Conforme exemplificado nos itens anteriores, o C.O.P., quando usado para comparar equipamentos com finalidades e fontes de energia idênticas, é um bom indicador da eficiência do sistema. Todavia ao comparar sistemas que operam com diferentes energéticos ou aproveitam rejeitos energéticos ou ainda tem seu rejeitos energéticos aproveitados, o C.O.P. passa ser um indicador sujeito a distorções importantes. Para reduzir tais distorções a comparação deve ser feita em função de bases exergéticas ou em função dos custos dos energéticos empregados. Neste estudo as comparações são feita com base no custo dos energéticos.

De fato, segundo a Eletropaulo e a decreto 33.118 (Regulamento do ICMS-SP), a energia elétrica é vendida por R\$ 0,214 / kwh para o consumidor residencial com consumo maior que 220 kwh/mês, incluindo o ICMS e 0,212 para o comércio que recebe energia em baixa tensão, incluindo o ICMS. Segundo a CSPE (Comissão de Serviços Públicos de Energia do Estado de São Paulo) o metro cúbico de gás é vendido por R\$ 1,49 / m³ para o consumidor que consome de 6 a 50 m³, e por R\$ 1,23 para o consumidor que consome entre 50 e 130 m³/ mês e R\$ 0,86 para o consumidor que consome de 131 a 1000 m³/mês. Como o gás natural possui poder calorífico de 9400 kcal/m³, temos que o custo do kWh de gás natural custa R\$ 0,1363, R\$ 0,113 e R\$ 0,0787 Para as faixas anteriormente definidas.

O equipamento proposto apresenta um C.O.P. de cerca de 0,1, sendo que equipamentos similares por compressão apresentam C.O.P. de cerca de 1,0 a 2,0. Entretanto

o sistema por compressão geralmente usa a eletricidade, enquanto o equipamento proposto usa energia térmica, vinda do gás natural ou de outros energéticos que podem ser mais baratos, ou até mesmo gratuitos como rejeitos térmicas.

Em outras palavras, não é relevante a eficiência de um equipamento que use o rejeito de um motor de combustão interna, ou outros processos, que seriam normalmente liberados ao ambiente, desde que o fluxo de calor seja suficiente ao acionamento do sistema de refrigeração.

5.2 - Custo do Equipamento

A avaliação do custo do equipamento foi feita de duas formas, pelo custo do segundo protótipo e por um estudo comparativo com os equipamentos comerciais.

5.2.1 – Custo do protótipo

Os valores estimados dos componentes empregados na confecção do segundo protótipo constam da tabela 5.1. Esses valores foram estimados, tendo em vista que a construção artesanal impede uma avaliação mais precisa dos custos de produção.

Os custos do equipamento variam com a potência basicamente em função das dimensões dos trocadores de calor. Todos os demais componentes são os mesmos para uma larga faixa de potência frigorífica.

Tabela 5.1 – Custos do segundo protótipo

Item	Descrição	Quantidade	Valor unitário US\$	Valor Total US\$
01	Gerador absorvedor	02	30,00	60,00
02	Trocadores de calor (evaporador / condensador)	02	60,00	120,00
03	Válvulas solenóide	05	100,00	500,00
04	Estrutura	01	20,00	20,00
05	Sistema de aquecimento	02	25,00	50,00
06	Sistema de circulação de água	-		100,00
07	Cabos de comando	-		40,00
	TOTAL			890,00

Valores estimados pelo autor. Não incluem sistema de aquisição de dados.

Ao custo estimado na tabela acima deve ser acrescido um valor de aproximadamente US\$ 500,00, relativo ao sistema de controle, o qual não foi desenvolvido neste estudo. Esse valor é baseado em uma estimativa para a aquisição de um sistema de controle microprocessado, sensores de pressão e temperatura.

5.2.2 – Análise comparativa de custos.

A tabela 5.2 exibe uma comparação dos componente empregados nos sistemas de refrigeração por compressão, absorção e no sistema proposto.

Conforme ilustra a tabela, a principal diferença entre o sistema proposto e os sistema de refrigeração por absorção usuais é a substituição do gerador , absorvedor, válvula redutora de pressão e bomba, por um ou mais geradores-absorvedores em peça única e um conjunto de duas válvulas de controle de fluxo por gerador-absorvedor, além de um sistema de controle das válvulas. Opcionalmente pode ser acrescido um sistema de

resfriamento por circulação de água dos geradores-absorvedores, bem como de transferência de calor entre os geradores absorvedores, caso haja mais que um deles.

Tabela 5.2 – Comparação das características construtivas de sistemas frigoríficos.

Componente	Compressão	Absorção	Sist proposto
Condensador	Em cobre	Em aço	Em aço
Evaporador	Em cobre	Em aço	Em aço
Válvula de expansão	Em cobre	Em aço	Em aço
Compressor	Sim	Não	Não
Bomba	Não	Sim	Sim
Válvulas p/ controle de fluxo de refrigerante	Não	Sim (retorno da solução rica)	Sim (duas por gerador absorvedor)
Sistema de controle	Termostato	Termostato	Microprocessado
Gerador e absorvedor	Não há	Duas peças	Um ou mais conjuntos

Dessa forma o custo do sistema proposto deve ser equivalente ao do sistema por absorção, sem a bomba e com as válvulas, sistema de controle e sistema de circulação de água. Todavia o custo da bomba é de cerca de US\$ 3.000,00 e a mesma deve operar com amônia e em níveis de pressão próximos a 12 bar.

O sistema de válvulas e de controle para um sistema com dois geradores-absorvedores deverá ter um custo de aproximadamente US\$ 1.500,00, conforme valores desembolsados durante a construção do segundo protótipo. Consequentemente o custo do sistema proposto é de cerca de US\$ 1.500,00 inferior ao do sistema por absorção convencional.

5.3 – Potencial de Emprego do Sistema.

Em vista das análises anteriores o sistema proposto apresenta as seguintes restrições de aplicação.

O sistema só é interessante em caso que exista um fluxo de calor de baixo custo. Caso o calor não seja rejeito, ou seja tiver um custo adicional para sua geração, o sistema de refrigeração por absorção tradicional apresentará grande vantagem sobre o sistema proposto. Tal vantagem é oriunda da pequena diferença de custo, de cerca de US\$ 1.500,00 favorável a o sistema proposta, e do C.O.P. cerca de seis vezes superior favorável aos sistemas tradicionais.

Caso exista a disponibilidade de energia elétrica o sistema proposto é inviável em uma larga faixa de potências frigoríficas, especialmente em baixas potências. Isso se deve ao fato do custo do sistema proposto ser cerca de 1,5 vezes superior ao do compressão, valor que, para viabilizar o sistema proposto, deve ser amortizado com custo da eletricidade consumida durante a vida do equipamento.

5.3.1 – Aplicações possíveis

Em vista das restrições descritas acima são analisadas algumas possíveis aplicações do sistema.

a) Processos de industrialização.

Alguns processos industriais, como a fabricação de alguns embutidos, derivados do leite e produtos químicos, exigem algum tipo de aquecimento, para a produção, e posteriormente exige um resfriamento para a conservação do produto acabado. Um

exemplo desse tipo de processo é a fabricação de embutidos, como por exemplo o presunto, no qual a carne é cozida e posteriormente o presunto é resfriado.

O equipamento proposto pode ser uma alternativa para pequenas propriedades nas quais poderia ocorrer a cogeração, usando o calor rejeitado para o aquecimento do gerador-absorvedor para o cozimento da carne.

b) Em conjunto com motores de veículos de passageiros.

Essa aplicação não é uma das mais indicadas devido ao simples fato de aproveitar a descarga direta dos gases aquecidos na atmosfera. Isso se deve à elevada carga térmica existente em um veículo de passageiros causada pela carroceria de material de alta condutividade térmica e pequena espessura, além da existência de amplas áreas envidraçadas proporcionando a penetração de radiação solar direta.

A energia rejeitada a partir de dados coletados por Santos, 1980, segundo os quais motores a gasolina rejeitam os gases de escape a temperaturas superiores a 200 °C, enquanto os motores a Óleo Diesel rejeitam gases de escape a temperaturas superiores a 400 °C. Essas temperaturas são suficientes para aquecer a solução de água e amônia, a qual deve ser aquecida até 160 °C.

Dos motores ensaiados por Santos (1980) o de pior desempenho, para fins de uso do gás de escapamento, foi o motor Volkswagen 1300, movido a álcool e refrigerado a ar. Esse motor operando a 2000 RPM e 25% de carga rejeita 7,443 kW. Considerando o C.O.P. de 0,1 esse motor conseguiria suprir uma carga frigorífica de 0,73 kW. O motor Chevrolet 261 movido a gasolina rejeita, segundo Santos (1980) 113,59 kW quando em operação a 3400 RPM e 100% de carga. Nessas condições e com C.O.P. de 0,1 esse motor supriria uma carga térmica de 11,36 kW. A tabela 5.3 mostra as potências frigoríficas que

podem ser obtidas a partir dos gases de escape dos motores ensaiados por Santos, 1980, supondo C.O.P. de 0,1. O resumo dos dados coletados por Santos (1980), bem como o potencial de capacidade frigorífica que poderia ser gerado a partir do escape desses motores é mostrado no apêndice 5.1.

Na falta de dados sobre outros motores foram são usados os dados referentes ao motor Perkins modelo 4248, de 4 cilindros, 3330 CC, taxa de compressão de 16:1 e potência máxima de 70 CV (51,5 kW), único motor dentre os ensaiados movido a óleo diesel. A potência rejeitada por esse motor é de cerca de 50 kW, ou seja os gases rejeitados por esse motor podem acionar um sistema de 5 kW, supondo o C.O.P. do sistema de refrigeração de 0,1.

Os gases de escape desse motor proporcionariam o acionamento de um sistema com potência 32% inferior à do ar-condicionado para cabines modelo AC-07 da Recrosul, o qual é usado para condicionamento de guindastes, tratores, colheitadeiras, cabines de caminhão e carros forte, o qual apresenta potência frigorífica de 7.325W.

No caso de ônibus foi considerada a instalação do motor Perkins em um micro-ônibus, os quais usam um motor Mercedes-Benz 0-364 LA, de 4 cilindros, 3972 CC, taxa de compressão de 17,1:1 e potência máxima de 136 CV (100 kW), ou seja, o motor Perkins provavelmente rejeite cerca de 30% menos calor pelo escape que o motor Mercedes-Benz. Os 5 kW de potência frigorífica que poderiam ser supridos pelos gases de escape desse motor correspondem a cerca de um terço de potência frigorífica do ar condicionado modelo AC-12, modelo de ar-condicionado de fabricação Recusul para uso em micro-ônibus. Esse modelo apresenta a potência frigorífica de 14.535 W. A potência comercial de alguns sistemas de ar-condicionado para veículos é mostrado na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Consumo de equipamento de condicionamento de ar de alguns tipos de veículos.

Potência kW	Aplicação
4.103	Automóveis
7.325	Cabine de caminhões, tratores, colheitadeiras, guindastes e carros-forte
14.535	Micro-ônibus
28.105	Ônibus
51.717	Ônibus de dois andares

Fonte: Manual de oficina Ford Belina – 1982; Recrosul: Catálogo 1999

Existe porém a hipótese de se empregar também o rejeito térmico do sistema de arrefecimento do veículo, podendo-se nesse caso, além de dispor uma maior quantidade de energia, usar essa água para auxiliar no resfriamento dos geradores absorvedores. Tal solução, porém, implicaria em mudanças importantes no circuito de circulação de água do veículo e não foi estudada neste trabalho.

A aplicação em automóveis não foi considerada, pois o período necessário para o sistema gerar vapor de fluido refrigerante e resfriar-se pode ser maior que muitas viagens realizadas nas cidades.

c) Aplicação no transporte rodoviário de carga.

Os sistemas de refrigeração usualmente empregados no transporte de carga frigorificada possuem as potências conforme mostrado na tabela 5.4. Caso fosse empregado o sistema proposto seria possível o uso do rejeito térmico oriundo do escapamento o qual é gratuito. O grande problema dessa aplicação do sistema é a interrupção do funcionamento do motor que tornaria obrigatório o uso de algum energético com custo relativamente elevado, o qual seria usado com baixa eficiência.

Tabela 5.4 – Consumo de alguns modelos de equipamentos de refrigeração de cargas.

Potência W/ Temperatura de retorno do ar	Aplicação
2.095 / 0°C	Carrocerias pequenas e médias T min 0°C
3.490 / 0°C	Carrocerias pequenas e médias T min 0°C
6.200 / 0°C 3.200 / -20°C	Carrocerias médias e grandes T carga -25°C a +15°C
12.790 / 0°C 7.440 / -20°C	Semi-reboques T carga -25°C a +15°C

Fonte: Recrusul catálogo 1999.

Supondo um sistema com potência frigorífica de 12790W com ciclo de operação com 16 horas de rodagem e 8 horas estacionado, ocorreriam os custos de operação descritos na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Comparação dos custos operacionais do sistema proposto e dos sistemas usuais.

Período	Sistema atual	R\$	Sistema proposto	R\$0
Rodagem	Consumo de 4,5 l/h de Óleo diesel ¹	32,40 ³	Uso de gás do escape	Zero
Pernoite ⁴	Motor elétrico ² de 12,5 CV (9,2 kW)	8,56 ³	Queima de GLP (110.000 kcal /h)	43,57
Diário		41,96		43,57

1 – Catálogo Recrusul, 1993

2- Refere-se ao modelo Recrusul TA-12

3 – Custo da eletricidade R\$ 0,20 / kWh (valor para residências com consumo superior a 220 kWh, ICMS incluso); custo do Óleo diesel R\$ 0,45 / l; custo do GLP R\$ 1,00/kg

4 – Supondo ar de retorno a -20°C

Dessa forma, o custo de combustível do sistema proposto é superior ao dos sistemas atuais, inviabilizando essa aplicação do sistema, Tal situação é agravada pela necessidade de ativação do sistema cerca de 4 horas antes do carregamento do veículo, para fins de resfriamento do compartimento de carga, o que aumenta ainda mais o consumo de combustível.

Tal aplicação poderia ser viável se duas condições fossem atendidas: redução do período de pernoite ou redução do custo do energético.

d) Conservação de pescado

Um dos maiores problemas enfrentados por pescadores é a conservação de pescado. Em suas viagens de pesca, com duração de cerca de dez dias, os barcos pesqueiros levam consigo uma carga de gelo com a finalidade de conservação do produto coletado. Esse gelo é adquirido pela troca pelo produto pescado, geralmente na razão de um a dois quilos de peixe por um quilo de gelo.

O sistema proposto, se instalado em um barco com o motor Perkins, ensaiado por Santos (1980), poderia suprir uma potência frigorífica de 5 kW, o que equivale a aproximadamente a energia absorvida por uma barra de 50 kg de gelo se fundido a 0°C em uma hora. A viabilidade do sistema aumenta muito devido ao fato do motor operar de forma contínua.

Dessa forma o sistema proposto, se instalado em barcos pesqueiros, pode apresentar dimensões bem inferiores ao volume de gelo armazenado, custos pouco superiores a um sistema por compressão e o aproveitamento de um fonte de energia normalmente desperdiçada.

Tal aplicação pode proporcionar uma melhoria na qualidade do pescado, reduzir um importante custo que recai sobre os pescadores além de permitir maior duração das viagens realizadas pelos pescadores.

e) Aplicação em conjunto com grupos geradores

Esse tipo de aplicação deve ser analisada caso a caso, ponderando-se sempre a energia disponível e a potência frigorífica necessária, e, em princípio, o sistema proposto só seria aplicável para potências frigoríficas inferiores à dos sistemas por absorção tradicionais. O sistema somente seria viável se o gerador operasse durante em boa parte do período em que o sistema de refrigeração estiver em operação.

f) Em conjunto com coletores solares

A aplicação do sistema proposto em conjunto com coletores solares enfrenta dois obstáculos à sua construção:

- 1) A temperatura de geração, ao redor de 160 °C exigiria o uso de coletores por concentração e fluídos térmicos, como óleo térmico.
- 2) O Baixo C.O.P. do sistema proposto, implica uma área de coletores cerca de seis vezes a que seria usada por um sistema por absorção usual, o que inviabilizaria sua aplicação.

6 – Conclusões e Recomendações

Após a construção dos protótipos e ensaios pode-se tirar algumas conclusões e fazer sugestões para pesquisas futuras.

6.1 – Conclusões

6.1.1 - Quanto às aplicações

Comercialmente, o sistema pode ser viável para pequenos condicionadores de ar veiculares, com potência frigorífica de cerca de 5 W, sendo que o veículo deve operar por longos períodos contínuos, como é caso de cabines de caminhões, tratores, colheitadeiras e carros-fortes. Além disso o sistema pode ser aplicável em embarcações pesqueiras, as quais operam com o motor permanente ligado e apresentam grande demanda por refrigeração.

Apesar disso deve-se considerar que o sistema proposto apresenta um C.O.P. de aproximadamente 0,1, tal fato restringe eventuais aplicações em que exista rejeito térmico disponível a custo muito baixo, praticamente gratuito. Para a faixa de potência atendida por sistemas de absorção usuais o sistema pode ter um custo inferior em cerca de US\$ 1.500,00. Tal economia possível seria compensada pela eficiência cerca de seis vezes maior dos sistemas tradicionais.

6.1.2 – Quanto ao sistema

O sistema proposto, apesar de não ter o comando computadorizado, conforme esperado, apresentou algumas contribuições ao estudo dos sistemas por absorção.

- A) A curva isoconcentração mostrou-se uma ferramenta importante para a avaliação da soluções de refrigerante-absorvente com características desconhecidas.
- B) A metodologia usada para levantar a curva isoconcentração pode ser aplicada a outros fluidos de forma a permitir o levantamento dos diagramas relativos às respectivas soluções.
- C) Mostrou uma metodologia de cálculo de sistemas por absorção com pequenos erros.

6.1.3 – Quanto à confecção dos protótipos

A realização de um trabalho experimental com custos bastante modestos, cerca de US\$ 6.000,00, conduz às seguintes conclusões:

- a) Soluções complexas com grande quantidade de componentes fabricados sob encomenda encarecem o protótipo e são sujeitas a grandes falhas. No caso deste trabalho as soluções mais simples, como a fabricação artesanal de trocadores de calor e dos geradores-absorvedores, não causaram grandes contratempos, entretanto os problemas verificados em componentes mais caros e delicados, como as válvulas, causaram atrasos significativos e inviabilizaram parte da pesquisa.
- b) O protótipo deve ser concebido para minimizar os custos com aquisição de dados. Neste trabalho a solução de medir a temperatura de uma massa de água ao invés da água que entre e sai de um trocador de calor permitiu o uso de um equipamento de menor custo sem prejuízo aos valores medidos.

6.2 – Recomendações.

As seguintes pesquisas podem ser realizadas em continuação ao presente estudo.

- A) O sistema proposto pode ser empregado para o levantamento de curvas características de outros pares refrigerante-absorvente.
- B) Deve ser estudada a aplicação do sistema proposto, principalmente, para fins de refrigeração em barcos pesqueiros. Nesse caso devem ser selecionadas válvulas solenóide, com efetiva capacidade de retenção de forma a poder usar um sistema de controle similar ao desenvolvido neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning, "ASHRAE handbook",
Atlanta, EUA, 1993

Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 108460 - Recipiente transportável de aço
para gás liquefeito de petróleo (GLP) - Requisitos e métodos de ensaio – ABNT
1997.

ASRE; "Refrigerating data book" 7ª Ed New York : Asre, 1950.

Araújo, Celso (1982); "Transmissão de calor" 2. ed.; Rio de Janeiro : Ltc, 1982.

Consul; Resposta a consulta ao Serviço de Atendimento ao cliente

Cortez, L.A.; "Histórico e Considerações Sobre a Refrigeração Por Absorção", "Estudos
Técnicos e Economia de Energia em Refrigeração", 1 .a Edição, Vol. 1, Editora:
Universidade do Amazonas, Manaus, (1998).

CSPE, Comissão de Serviços Públicos de Energia, Consulta ao Site www.cspe.sp.gov.br

ELECTROLUX; "Learn more about the first Electrolux refrigerator here!";
[HTTP://WWW.ELECTROLUX.COM/NODE229.ASP](http://WWW.ELECTROLUX.COM/NODE229.ASP)

Eletropaulo – Eletricidade de São Paulo S/A – Consulta ao site www.eletropaulo.com.br

Kirk and othomer, "Enciclopedia of chemical technology", JWS, USA

Kreith, Frank, "Princípios da transmissão do calor", Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, SP, Brasil, 1973.

Maia, Luís Otávio Aleotti, "Ciclo frigorífico por absorção água-amônia utilizando energia solar não concentrada", COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1986.

Medeiros, Barroso Leite de, "Estudo experimental de uma máquina a absorção água-amônia para refrigeração de baixa potência operando com energias elétrica e solar", Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, SP, Brasil, 1981.

Ozisik, M. Necati, "Basic heat transfer", McGraw Hill Ltda, Tóquio, 1977

Perry, Robert H., "Perry's chemical engineers' handbook", McGraw-Hill International Editions, 1984

Pohlman, Walther; (1979); "Manual de técnica frigorífica"; Ed Ômega; Barcelona, 1979

SABROE - Amônia - O refrigerante do futuro - Palestras de divulgação - São Paulo - 1993

Recrusul; Catálogo de produtos; <http://www.recrusul.com.br>

Santos, Antônio Moreira dos, "Aproveitamento de energia rejeitada em máquinas térmicas para a produção de frio através de sistemas de absorção", dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, SP, Brasil, 1980.

Schiel, Frederico, "Introdução a resistência dos materiais", Editora Harper & Row do Brasil LTDA., São Paulo, 1984.

Silva, Remí Benedito, "Instalações frigoríficas", Grêmio Politécnico, São Paulo, SP, Brasil, 1960

Sresnewsky, Svetlana Francisca Galvão Bueno, "Estudos de ciclos de refrigeração por absorção quanto a sua aplicação e fonte energética", Escola Politécnica/USP, São Paulo, SP, 1983.

Trevisan, W, "Manual termo-técnico", Instituto Brasileiro de edições científicas, São Paulo, SP, 1980.

Torreira, Raul Peragallo, "Refrigeração e Ar-condicionado", Fultom Edições Técnicas, São Paulo, 1979

Vuolo, J.H.; "Fundamentos da teoria dos erros"; 2ª Edição; Editora Edgard Blucher; São Paulo; 1998

Woolrich, Willis Raymond; "Handbook of refrigerating engineering"; Avi Pub. Co., Westport, Conn., 1965-

ANEXO A

- Programa de dimensionamento.

Como o dimensionamento do sistema sem o auxílio de computadores seria lento a ponto de inviabilizar, por exemplo, uma análise de sensibilidade a variação de parâmetros, optou-se pela elaboração de uma planilha de dimensionamento.

1 - Escolha da plataforma.

Três opções de plataforma para desenvolvimento dos cálculos foram consideradas:

- a - Linguagem de alto nível (Pascal, Fortran, C++, BASIC).
- b - Uso de um programa específico para dimensionamento (por exemplo EES).
- c - Planilha eletrônica.

O uso da linguagem de alto nível, como Pascal ou C, tornaria difícil a verificação de erros na digitação da massa de dados termodinâmicos relativos à solução de água-amônia e vapores de amônia, extraídos de tabelas. No caso do uso de planilha a consistência de dados pode ser verificada por meio de gráficos, ou seja pode construir-se rapidamente gráficos com os dados digitados e verificar a existência de valores discrepantes.

O uso de programa dedicado, como por exemplo o EES da F-chart Programa, não foi possível por dois motivos: 1) Não foi possível o acesso a tal programa antes da conclusão da planilha aqui descrita e 2) Em razão de tal planilha não abranger valores correspondentes à concentração da solução fraca e sobre a concentração do vapor gerado, dados fundamentais para a determinação da temperatura de geração.

A planilha Microsoft Excel ofereceu as seguintes vantagens para a realização do trabalho:

- Funções gráficas que auxiliam na verificação dos digitados e interpolados.
- Funções de regressão linear e logarítmica.

- Funções de busca e procura, que possibilitam localização de dados em tabelas para funções com baixo coeficiente de correlação.
 - Funções de auditoria que permitem o rastreamento de erros.
- 2 - Valores obtidos por regressão linear.

A planilha tabela3.xls calcula correlações entre temperatura e concentração e entalpia específica (Anexo A.3) e concentração (Anexo A.4) para soluções de água e amônia na fase líquida. Os valores são válidos para concentração entre 9% e 42% e foram elaborados a partir de dados da Wollrich (1965), mostrados nos anexos A.1 e A.2, em unidades britânicas e nos anexos A.3 e A.4 em unidades de Sistema Internacional.

O cálculo do coeficiente de regressão linear para temperatura em função da concentração passou pelas seguintes etapas:

- 1 - Digitação da tabela original concentração em função da temperatura, em °F, para vários níveis de pressão em PSI.
- 2 - Cópia da planilha convertendo a temperatura para °C.
- 3 - Por meio de uma planilha auxiliar, a tabela foi convertida para temperatura em função da pressão e concentrações.
- 4 - Cálculo dos coeficientes de regressão linear para cada nível de pressão. Escolheu-se uma faixa de concentrações de forma a se obter coeficientes de correlação superior a 0,990, tanto para a estimativa da concentração, como da entalpia. Por tentativa e erro a regressão foi feita para a faixa de concentrações entre 9 % e 42 %, obtendo-se coeficiente de correlação superior a 0,9984.
- 5- Verificou-se o erro absoluto, ou seja, diferença entre um valor tabelado e o correspondente obtido por correlação, máximo inferior a 2 °C.
- 6- Os coeficientes de correlação obtidos foram interpolados de forma a se obter valores para um maior número de faixas de pressão. Tais valores constam do anexo 3.5.

A elaboração da tabela temperatura em função da entalpia específica passou pelas seguintes etapas:

- 1 - Digitação da planilha original de entalpia específica, em Btu/lb em função da temperatura, em °F e para vários níveis de pressão em PSI.
- 2 – Conversão dos valores de temperatura para °C e entalpia específica para kJ/kg.
- 3 – Eliminação dos valores de entalpia específica correspondentes às concentrações inferiores a 9% e superiores a 42%.
- 4 - Cálculo dos coeficientes de regressão linear para cada nível de pressão. O coeficiente de correlação foi superior a 0,9987.
- 5- Verificou-se o erro absoluto, ou seja, diferença entre um valor tabelado e o correspondente obtido por correlação, máximo inferior a 2,6 °C.
- 6- Os coeficientes de correlação obtidos foram interpolados de forma a se obter valores para um maior número de faixas de pressão. Tais valores constam do anexo A.6.

3 - Programa de dimensionamento.

A Planilha TERMEC9.XLS é composta de 2 partes, uma para dimensionamento termodinâmico, subdivididas em 7 blocos, e outra para dimensionamento de trocadores de calor, subdividida em 2 blocos. A parte da planilha na qual são mostradas as entradas de dados e exibidos os resultados relativos à parte de dimensionamento termodinâmico é exibida no anexo A.8.

Na descrição a seguir os valores entre chaves {} indicam células ou conjunto de células da planilha TERMEC9.xls, nas quais se encontram os valores referidos no texto. Os valores entre colchetes [] indicam as unidades usadas.

3.1 - Cálculo de vazão e trocas de calor.

3.1.1 - Entrada de dados.

A planilha TERMEC9.xls necessita dos seguintes dados:

- Temperatura de condensação da amônia {c2}, em [°C]. A partir desse dado é pesquisado o valor tabelado imediatamente inferior, o qual é exibido na célula {d2}. Esse valor tabelado será usado em todos os cálculos efetuados nessa planilha. O valor da temperatura de condensação deve ser estimado

principalmente em função da temperatura do fluido de resfriamento, acrescido de um valor de cerca de 10°C.

- Potência frigorífica {c3}, [Watt]. Este valor afeta diretamente as dimensões dos trocadores e o inventário de amônia.

- Duração da fase de refrigeração {c4}, em [minutos]. Em conjunto com a potência frigorífica determina a energia transferida no evaporador. A duração da fase de aquecimento deve ter duração inferior ao tempo necessário ao aquecimento {d4}, o qual pode ser modificado pela alteração da potência do aquecedor.

- Concentração inicial da solução rica {c5}, em [percentagem]. Refere-se à solução existente no gerador-absorvedor. Esse valor deve ser inferior ao limite da concentração o qual é função da pressão e temperatura no recipiente. O valor de tal limite é expresso na célula {d5}.

- Temperatura de geração de vapor {c6} em [°C]. Temperatura máxima a ser atingida pela solução de água-amônia. Note-se que durante a evaporação parte da amônia é reabsorvida pela água existente no retificador, sendo esse percentual expresso na célula {d7}. A temperatura não deve subir a valores que corresponda a absorção de mais de 100% da amônia evaporada.

- Temperatura de evaporação da amônia {c7}, em [°C].

- Potência fornecida para aquecimento da solução de água e amônia {c8}, em [kW]. Esse valor influencia fortemente a duração da fase de geração de vapor.

- Temperatura da água de circulação pelos trocadores {c9}[°C]. Temperatura da água usada pelos trocadores de calor. Seu valor é associado ao da temperatura ambiente.

- Troca de calor entre geradores-absorvedores {c10}[%]. Determina a quantidade de calor a ser trocada entre os geradores-absorvedores, no caso do uso de mais de um e dotados com esse sistema.

3.1.2 - Pesquisa em tabelas.

Nesta seção são pesquisados coeficientes que serão usados para determinar variáveis de estado.

Pressão baixa ou de evaporação da amônia {c13}, em [PSI] e {e13}, em [kPa]; A pressão de evaporação é determinada em função da temperatura de evaporação {d7}.

- Pressão de condensação da amônia {c14}, em PSI e {e14}, em kPa. - Obtido em tabela em função da temperatura de condensação {d2}.

- Entalpia específica do vapor saturado da amônia [kJ/kg] em função da temperatura [°C] {c15..d15}. Foram calculados, na própria planilha, coeficiente de regressão linear entre essas variáveis, com coeficiente de correlação de 0,9982. Esses valores são transportados para as células em questão.
- Entalpia específica do líquido saturado da amônia [kJ/kg] em função da temperatura [°C] {c16..d16}. Foram calculados, na própria planilha, coeficiente de regressão linear entre essas variáveis, com coeficiente de correlação de 0,9982. Esses valores são transportados para as células em questão.
- Entalpia específica de condensação da amônia {c17} [kJ/kg]. Procurada, por meio de funções de busca, na tabela existente na própria planilha, para o valor da pressão de condensação.
- Coeficientes da equação de entalpia específica [kJ/kg] em função da temperatura [°C] para alta pressão {c18..d18}. É selecionado o coeficiente referente ao valor da pressão alta dentre os existentes na tabela constante do anexo A.6.
- Coeficientes da equação da temperatura [°C] em função da concentração para alta pressão {c19..d19}. É selecionado o coeficiente referente ao valor da pressão alta dentre os existentes na tabela constante do anexo A.5.
- Coeficientes da equação de entalpia específica [kJ/kg] em função da temperatura [°C] para baixa pressão {c20..d20}. É selecionado o coeficiente referente ao valor da pressão baixa dentre os existentes na tabela constante do anexo A.6.
- Coeficientes da equação de temperatura em [°C] em função da concentração [%] para baixa pressão {c21..d21}. É selecionado o coeficiente referente ao valor da pressão alta dentre os existentes na tabela constante do anexo A.5.

3.1.3 - Cálculo de variáveis de estado.

Nesta seção os valores das variáveis de estado são calculados em função dos valores determinados no item anterior.

- A partir das equações do item 2 são pesquisadas as variáveis necessárias aos cálculos de troca de massa e energia:

- Temperatura de início da liberação de vapor {c25} [°C]. Nessas condições de temperatura e pressão é suportada a concentração da solução rica. A partir dessas condições ocorre a liberação de vapor de amônia para qualquer fornecimento adicional de energia. No modelo proposto supões que não ocorra a liberação de vapor antes desse ponto. Seu valor é calculado em função da concentração da solução rica e da equação que relaciona concentração e temperatura.
- Temperatura máxima para absorção {c26}[°C]. Acima dessa temperatura e no valor previsto para pressão baixa não é admitida concentração igual ou superior à concentração da solução rica. Esse valor é calculado para a concentração da solução rica por meio de correlações de temperatura em função da concentração para baixa pressão.
- Temperatura final da absorção adotada {c27} [°C]. Como da temperatura correspondente a concentração de solução rica não pode ser ultrapassado {c26} , adota-se um limite de temperatura inferior a esse.
- Entalpia específica do vapor no final da evaporação {c28}[kJ/kg] = heo_ obtido da equação de entalpia específica do vapor saturado {c15..d15} para temperatura de evaporação {c7}.
- Entalpia específica do vapor no início evaporação ou final da condensação {c29}[kJ/kg] = hei obtido da equação de entalpia específica do líquido saturado {c15..c16} para temperatura de evaporação {d2}.
- Energia interna no início da fase de aquecimento {c30}[kJ/kg]= u1. Esse valor reflete a entalpia verificada no estado inicial da solução menos o produto do volume específico pela pressão nessa situação. Esse valor é calculado a partir de regressões lineares para entalpia baixa pressão {c20..d20}, concentração da solução rica e temperatura final de absorção adotada {c27}.
- Energia interna no início da etapa de geração de vapor {c31}[kJ/kg]= u2. Este valor corresponde à entalpia da solução no momento em que o vapor começa a ser liberado menos o produto do volume específico pela pressão da solução. Valor calculado a partir de regressões lineares para alta pressão, concentração da solução rica {c18..d18} e temperatura de início de liberação de vapor {c125}.
- Energia interna no final da Etapa de geração de vapor {c32}[kJ/kg] = u3. Corresponde a entalpia no momento em que a temperatura máxima de aquecimento e a pressão de condensação são atingidas, menos o produto do volume específico pela pressão da solução. Esse valor é calculado a partir de regressões lineares para alta pressão, concentração da solução pobre {c18..d18} e temperatura de final de geração de vapor {c6}.

- Entalpia associada ao vapor de amônia liberado do gerador-absorvedor {c33} [kJ]. Valor pesquisado em tabela para as condições de vapor de amônia à alta pressão e temperatura de geração de vapor.
- Entalpia no final do resfriamento, caso exista a troca de calor entre os geradores-absorvedores {c34} [kJ]. Calculada para baixa pressão à temperatura média. Esse valor é usado para estimar a troca de calor entre geradores-absorvedores.
- Energia interna da solução que retorna ao gerador {c35} [kJ]. O valor da entalpia da solução nas condições encontradas no gerador é pesquisada em tabelas e dessa valor é subtraído o produto da pressão pelo volume específico.
- Concentração final {c36} [%]. Calculada por regressão linear {c19..d19} para temperatura final de geração {c6} à alta pressão.
- Concentração à temperatura de condensação e alta pressão {c37}, em [%]. Este valor corresponde à quantidade de amônia que é reabsorvida pela água em condensação no retificador. É calculado por regressão linear {c19..d19} para alta pressão e a temperatura de condensação {d2}.

3.1.4 - Análise do vapor.

Esta análise determina a massa de amônia em cada parte do sistema.

- Massa da amônia condensada por ciclo {c40} [kg]. Determinado pelo quociente da energia frigorífica {c3 multiplicado por c4} pela diferença de entalpias da amônia condensada {c29} e da amônia na saída do evaporador {c28}.
- Massa total de solução rica {c41} [kg]. Calculado pela razão da massa de amônia condensada {c38} pela diferença entre a concentração da solução rica {c5} e concentração pobre {c34}.
- Massa de solução que retorna ao gerador {c42} [kg]. Valor aproximado em função da massa de amônia evaporada e seu título.
- Concentração do vapor gerado {c45} em [percentagem]. Valor pesquisado, por meio de funções de busca, em tabela constante da própria planilha, elaborado por Wollrich, 1965, para pressão alta e temperatura de geração de vapor.

- Concentração do vapor retificado {c46} em [%]. Valor pesquisado, por meio de funções de busca, em tabela constante da própria planilha, elaborado por Wollrich, 1965, para pressão alta e temperatura de condensação.
- Percentagem de água no retificador {c47} em [percentagem]. Essa estimativa da água removida no condensador é feita pela diferença da concentração do vapor gerado {c43} e do vapor retificado {c44}.
- Amônia reabsorvida em percentagem {c48}. Estimativa da percentagem da amônia evaporada que será absorvida pela água condensada que retorna ao gerador. Deve-se ter a cautela de não usar temperaturas de geração de vapor que impliquem em percentagem superior a 100%. Esse valor é calculado em função da concentração de amônia no vapor de amônia {c37} e da quantidade de água disponível no retificador {c47}.

3.1.5 – Consumo de energia e C.O.P.

- Calor para aquecimento na fase de geração I {c52} {f52} [kJ] – Avaliação do calor necessário para que a solução rica saia do estado inicial e comece a liberar vapor de amônia. Esse valor é calculado multiplicando-se a massa de solução rica {c41} pela diferença de energia interna do estado inicial {c30} pela do estado em que ocorre o início da liberação do vapor {c31}.
- Calor para aquecimento na fase de geração II {c53} {f53} [kJ] - Avaliação do calor necessário para que a solução rica saia do estado em que está iniciando a liberação do vapor de amônia até que se torne solução pobre no final da geração de vapor. Não está incluso neste item o calor transferido à amônia evaporada. É calculado pela diferença da energia interna da solução no início da liberação do vapor, determinado em função de {c41}{c31}, e da energia interna da solução no final da evaporação, calculados em função de {c32}, {c40} e {c41}.
- Calor cedido à amônia evaporada {c54} [kJ]. Avaliado em função da massa de amônia evaporada e a sua entalpia {c33}.
- Calor associado à água que retorna {c55} [kJ]. Calculado em função da massa de água que retorna do gerador {c42} e sua energia interna {c34}

- Calor cedido ao vapor de amônia na condensação {c56} {f56} [kJ] – avalia o calor transferido à amônia que evaporou da solução rica. Este valor é calculado em função da massa de amônia evaporada {c37} e da entalpia de condensação da amônia {c17} e da energia interna da amônia condensada.
- Calor total cedido na geração de vapor {c59} {f59} [kJ] – Calculado pela balanço de energia no gerador, o seja a soma dos itens anteriores {c52}, {c53} e {c54}, menos {c55}.
- Período de aquecimento {c61} [min] – Dado pela razão do calor cedido na geração de vapor {c59} pela potência do aquecedor { c8}.
- Calor fornecido ao evaporador {c62} – Calculado pela potência frigorífica {c3} pela duração da fase de refrigeração {c4}.
- C.O.P. estimado {c63} – Calculado pela razão do calor trocado no evaporador {c62} pelo calor recebido durante a geração de vapor {c59}.

3.2 – Dimensionamento dos trocadores de calor

3.2.1 - Entrada de dados:

Diâmetro interno do condensador {d76}[mm].

Diâmetro externo do condensador {d77}[mm].

Diâmetro do casco {d78}[mm].

Temperatura de entrada da água de resfriamento {d79}[°C].

Temperatura da água de saída {e79}[°C].

Diâmetro interno do evaporador {d83}[mm].

Diâmetro externo do evaporador {d84}[mm].

Diâmetro do casco {d85}[mm].

Temperatura de entrada da água de resfriamento {d86}[°C].

Temperatura da água de saída {e86}[°C].

3.2.2 – Cálculos do condensador

O condensador é calculado segundo a metodologia descrita no capítulo 2. Para evitar a redundância, as equações não são descritas neste anexo. Os cálculos encontram-se nas seguintes linhas da planilha:

Cálculo do coeficiente de película referido à face interna da tubulação: 91 a 104

Cálculo do coeficiente de película referido à face externa da tubulação: 106 a 116

Condutividade térmica da parede : 119 a 121

Cálculo do coeficiente global: 124 a 132

3.3.3 – Cálculos do evaporador

O condensador é calculado segundo a metodologia descrita no capítulo 2. Para evitar a redundância, as equações não são descritas neste anexo. Os cálculos encontram-se nas seguintes linhas da planilha:

Cálculo do coeficiente de película referido à face interna da tubulação: 139 a 150

Cálculo do coeficiente de película referido à face externa da tubulação: 159 a 169

Condutividade térmica da parede : 171 a 171

Cálculo do coeficiente global: 176 a 184

APÊNDICE B –

PROGRAMA DE CONTROLE

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
SysUtils, WinTypes, WinProcs, Messages, Classes, Graphics, Controls,  
Forms, Dialogs, Menus, StdCtrls;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)  
  MainMenu1: TMainMenu;  
  Medio1: TMenuItem;  
  Rotinas1: TMenuItem;  
  Individual1: TMenuItem;  
  GroupBox1: TGroupBox;  
  RadioButton1: TRadioButton;  
  RadioButton2: TRadioButton;  
  RadioButton3: TRadioButton;  
  GroupBox2: TGroupBox;  
  RadioButton4: TRadioButton;  
  RadioButton5: TRadioButton;  
  RadioButton6: TRadioButton;  
  GroupBox3: TGroupBox;  
  RadioButton7: TRadioButton;  
  RadioButton8: TRadioButton;  
  RadioButton9: TRadioButton;  
  GroupBox4: TGroupBox;  
  RadioButton11: TRadioButton;  
  RadioButton12: TRadioButton;  
  RadioButton13: TRadioButton;  
  Desliga: TRadioButton;  
  Button1: TButton;  
  procedure FormCreate(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton3Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton4Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton5Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton6Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton7Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton8Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton9Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton11Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton12Click(Sender: TObject);  
  procedure RadioButton13Click(Sender: TObject);  
  procedure DesligaClick(Sender: TObject);
```

```

procedure Button1MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure Button1MouseUp(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

{DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS *****}
var
  Form1: TForm1;

  x,y: integer;
  Status_Placa1: integer;
  Status_Placa2: integer;
  Status_Temp1, Status_Temp2: Integer;
  Rb, Rb1: boolean;
implementation
  {zerando as placas}
  {X}
  {$R*.DFM}
  {COMANDO INDIVIDUAL DE RELES *****}
  { * * * * * Placa 1 * * * * * }
  Procedure Val_Expansao (Rele: Boolean);
  Begin
    If rele then
      Status_placa1:=Status_Placa1 or $1
    else
      Status_placa1:=Status_Placa1 and ($1 xor $FF);

end;

Procedure Val_Cond2 (Rele: Boolean);
Begin
  If rele then
    Status_placa1:=Status_Placa1 or $2
  else
    Status_placa1:=Status_Placa1 and ($2 xor $FF);
end;

Procedure Val_Cond1(Rele: Boolean);
Begin
  If rele then
    Status_placa1:=Status_Placa1 or $4
  else
    Status_placa1:=Status_Placa1 and ($4 xor $FF);
end;

Procedure Rel_Seguranca(Rele: Boolean);
Begin
  If rele then
    Status_placa1:=Status_Placa1 or $8
  else

```

```

    Status_placa1:=Status_Placa1 and ($8 xor $FF);
end;

```

```

Procedure Sol_Agua1 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa1:=Status_Placa1 or $10
    else
        Status_placa1:=Status_Placa1 and ($10 xor $FF);
end;

```

```

Procedure Sol_Agua2 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa1:=Status_Placa1 or $20
    else
        Status_placa1:=Status_Placa1 and ($20 xor $FF);
end;

```

```

Procedure Bomba (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa1:=Status_Placa1 or $40
    else
        Status_placa1:=Status_Placa1 and ($40 xor $FF);
end;

```

```

{ * * * * * Placa 2 * * * * * }
Procedure Resistencia1 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa2:=Status_Placa2 or $1
    else
        Status_placa2:=Status_Placa2 and ($1 xor $FF);
end;

```

```

Procedure Resistencia2 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa2:=Status_Placa2 or $2
    else
        Status_placa2:=Status_Placa2 and ($2 xor $FF);
end;

```

```

Procedure Val_Evaporador1 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa2:=Status_Placa2 or $10
    else
        Status_placa2:=Status_Placa2 and ($10 xor $FF);
end;

```

```

Procedure Val_Evaporador2 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa2:=Status_Placa2 or $8

```

```

    else
        Status_placa2:=Status_Placa2 and ($8 xor $FF);
end;

Procedure Sol_Agua34 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa2:=Status_Placa2 or $40
    else
        Status_placa2:=Status_Placa2 and ($40 xor $FF);
end;

Procedure Sol_Agua5 (Rele: Boolean);
Begin
    If rele then
        Status_placa2:=Status_Placa2 or $80
    else
        Status_placa2:=Status_Placa2 and ($80 xor $FF);
end;

{INICIALIZAÇÃO DO PROGRAMA: ZERANDO AS PLACAS *****}
Procedure Seta_placas;
begin
Port[$208]:=Status_Placa1;
Port[$218]:=Status_Placa2;
end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    Status_Placa1:=0;
    Status_Placa2:=0;

end;

{ABERTURA DA VÁLVULA DO CONDENSADOR 1 *****}
procedure TForm1.RadioButton1Click(Sender: TObject);
BEGIN
    Rb := False;
    if (Status_Placa1 and $2 = $2)then
        Rb:= true;
    if ((Status_Placa1 and $10 <> $10) and (Status_Placa2 and $10 <> $10))then
        begin
            Val_Cond1(true);
            Val_Cond2(False);
            Rel_Seguranca(true);
            Val_Expansao(False);
            {ligar bomba *****}
            Radiobutton4.checked:=False;
            Seta_placas;
        end
    else
        Begin
            MessageDlg('A válvula de retorno desse gerador esta aberta ou o resfriamento está
acionado',mtInformation,[mbOK],0);
            Radiobutton1.checked:=False;

```

```

        if Rb = true then
            Begin
                Radiobutton3.checked:=true;
            end
        else
            Begin
                Radiobutton2.checked:=true;
            end
        end
    end;
end;

```

```

{ABERTURA DA VÁLVULA DO CONDENSADOR 2 *****}

```

```

procedure TForm1.RadioButton3Click(Sender: TObject);

```

```

Begin

```

```

    Rb := False;

```

```

    if (Status_Placa1 and $4 = $4)then

```

```

        Rb:= true;

```

```

    if ((Status_Placa2 and $8 <> $8)and (Status_Placa1 and $20 <> $20))then

```

```

        begin

```

```

            Val_Cond2(true);

```

```

            Val_Cond1(False);

```

```

            Rel_Seguranca(False);

```

```

            Val_Expansao(False);

```

```

            {ligar bomba *****}

```

```

            Radiobutton5.checked:=False;

```

```

            Seta_placas;

```

```

        end

```

```

    Else

```

```

        Begin

```

```

            MessageDlg('A válvula de retorno desse gerador esta aberta ou o resfriamento está
acionado',mtInformation,[mbOK],0);

```

```

            Radiobutton3.checked:=False;

```

```

            if Rb = true then

```

```

                Begin

```

```

                    Radiobutton1.checked:=true;

```

```

                end

```

```

            else

```

```

                Begin

```

```

                    Radiobutton2.checked:=true;

```

```

                end

```

```

        end

```

```

    end;

```

```

{FECHAMENMTO DAS VÁLVULAS DO CONDENSADOR *****}

```

```

procedure TForm1.RadioButton2Click(Sender: TObject);

```

```

begin

```

```

    Val_Cond1(False);

```

```

    Val_Cond2(False);

```

```

    {Desligar bomba *****}

```

```

    Seta_placas;

```

```

end;

```

```

{ABERTURA DA VÁLVULA DO EVAPORADOR 1 *****}

```

```

procedure TForm1.RadioButton4Click(Sender: TObject);

```

```

Begin

```

```

Rb := False;
if (Status_Placa2 and $8 = $8)then
Rb:= true;
if ((Status_Placa1 and $4 = $4)or(status_Placa2 and $1 = $1))
then
  Begin
    MessageDlg('A valvula do condensador desse gerador esta aberta e/ou o resistor esta
ligado',mtInformation,[mbOK],0);
    Radiobutton4.checked:=False;
    if Rb = true then
      Begin
        Radiobutton5.checked:=true;
      end
    else
      Begin
        Radiobutton6.checked:=true;
      end
    end
  end

Else
  begin
    Resistencia1(False);
    Rel_Seguranca(False);
    Val_Evaporador1(true);
    Val_Evaporador2(False);
    Val_Cond1(False);
    Radiobutton1.checked:=False;
    Seta_Placas;
  end

end;

{ ABERTURA DA VÁLVULA DO EVAPORADOR 2 ***** }
procedure TForm1.RadioButton5Click(Sender: TObject);
begin
  Rb := False;
  if (Status_Placa2 and $4 = $4)then
    Rb:= true;
  if ((Status_Placa1 and $2 = $2)or(Status_Placa2 and $2 = $2))
  then
    Begin
      MessageDlg('A valvula do condensador desse gerador esta aberta e/ou o resistor esta
ligado',mtInformation,[mbOK],0);
      Radiobutton5.checked:=False;
      if Rb = true then
        Begin
          Radiobutton4.checked:=true;
        end
      else
        Begin
          Radiobutton6.checked:=true;
        end
      end
    end
  else
    begin
      Resistencia2(False);

```

```

    Rel_Seguranca(true);
    Val_Evaporador2(true);
    Val_Evaporador1(False);
    Val_Cond2(False);
    Radiobutton3.checked:=False;
    Seta_Placas;
  end
end;

{FECHAMENTO DAS VÁLVULAS DO EVAPORADOR *****}
procedure TForm1.Radiobutton6Click(Sender: TObject);
begin
  Val_Evaporador1(False);
  Val_Evaporador2(False);
  Seta_Placas;
end;

{ACIONAMENTO DO RESISTOR 1 *****}
procedure TForm1.Radiobutton7Click(Sender: TObject);
begin
  Rb1 := False;
  if (Status_Placa1 and $10 = $10)
  then
    begin
      MessageDlg('esse gerador esta sendo resfriado',mtInformation,[mbOK],0);
      Radiobutton8.checked:=False;
    end
  else
    if (Status_Placa2 and $2 = $2)
    then
      begin
        Rb1:= true;
        MessageDlg('A outra resistencia esta ligada',mtInformation,[mbOK],0);
        Radiobutton8.checked:=True;
        Radiobutton7.checked:=False;
      end
    else
      if (Status_Placa2 and $10 <> $10)
      then
        begin
          Val_Evaporador1(False);
          Resistencia1(true);
          Resistencia2(False);
          Seta_Placas;
        end
      else
        Begin
          MessageDlg('A valvula do evaporador desse gerador esta aberta',mtInformation,[mbOK],0);
          Radiobutton7.checked:=False;
          if Rb = true
          then
            Begin
              Radiobutton8.checked:=true;
            end
          else
            Begin

```

```

        Radiobutton9.checked:=true;
    end
end

end;

{ ACIONAMENTO DO RESISTOR 1 ***** }
procedure TForm1.RadioButton8Click(Sender: TObject);
begin
    Rb := False;
    if (Status_Placa1 and $20 = $20)
    then
        begin
            MessageDlg('esse gerador esta sendo resfriado',mtInformation,[mbOK],0);
            Radiobutton8.checked:=False;
        end
    else
        if (Status_Placa2 and $1 = $1)
        then
            begin
                Rb:= true;
                MessageDlg('A outra resistencia esta ligada',mtInformation,[mbOK],0);
                Radiobutton7.checked:=True;
                Radiobutton8.checked:=False;
            end
        else
            if (Status_Placa2 and $8 <> $8) {20}
            then
                begin
                    Val_Evaporador2(False);
                    Resistencia1(False);
                    Resistencia2(true);
                    Seta_Placas;
                end
            else
                Begin
                    MessageDlg('A valvula do evaporador desse gerador esta aberta',mtInformation,[mbOK],0);
                    Radiobutton8.checked:=False;
                    if Rb = true
                    then
                        Begin
                            Radiobutton7.checked:=true;
                        end
                    else
                        Begin
                            Radiobutton9.checked:=true;
                        end
                    end
            end
        end
end;

{ DESLIGAMENTO DAS RESISTENCIAS ***** }
procedure TForm1.RadioButton9Click(Sender: TObject);
begin
    Resistencia1(False);
    Resistencia2(False);

```

```

    Seta_Placas;
end;

{ ACIONAMENTO DA CIRCULAÇÃO NO EVAPORADOR ***** }
procedure TForm1.RadioButton11Click(Sender: TObject);
begin
    Sol_Agua5 (TRUE);
    Seta_Placas;
end;

{ ACIONAMENTO DA CIRCULAÇÃO NO GERADOR 1 ***** }
procedure TForm1.RadioButton12Click(Sender: TObject);
begin
if ((Status_Placa2 and $1 = $1) or (Status_placa1 and $4 = $4))
then
    begin
        MessageDlg('Esse gerador esta em aquecimento',mtInformation,[mbOK],0);
        Radiobutton12.checked:=false;
        Desliga.checked:=true;
    end
else
    begin
        Sol_Agua1 (true);
        Seta_Placas;
    end
end;

{ ACIONAMENTO DA CIRCULAÇÃO NO GERADOR 2 ***** }
procedure TForm1.RadioButton13Click(Sender: TObject);
begin
if ((Status_Placa2 and $2 = $2) or (Status_placa1 and $2 = $2))
then
    begin
        MessageDlg('Esse gerador esta em aquecimento',mtInformation,[mbOK],0);
        Radiobutton12.checked:=false;
        Desliga.checked:=true;
    end
else
    begin
        Sol_Agua2 (true);
        Seta_Placas;
    end
end;

{ DESLIGAMENTO DAS BOMBAS ***** }
procedure TForm1.DesligaClick(Sender: TObject);
begin
    Sol_Agua1 (false);
    Sol_Agua2 (false);
    Sol_Agua5 (false);
    Seta_Placas;
end;

{ ABERTURA DA VÁLVULA DE EXPANSÃO ***** }
procedure TForm1.Button1MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;

```

```

Shift: TShiftState; X, Y: Integer);

begin
  {rem if ((Status_Placa2 and $8 = $8)OR (Status_Placa2 and $10 = $10))then
  rem  begin
  rem  if ((Status_Placa1 and $2 <> $2)OR (Status_Placa1 and $4 <> $4))then
  rem  Begin
  rem    MessageDlg('Valvulas do condensador estão abertas',mtInformation,[mbOK],0);
  rem  End
  rem  Else
  rem  Begin}
    Status_Temp1 := Status_Placa1;
    Status_Temp2 := Status_Placa2;
    Val_Expansao (true);
    Val_Cond1 (false);
    Val_Cond2 (false);
    Seta_Placas
  {rem end
  rem end
  rem Else
  rem  MessageDlg('Valvulas de retorno do gerador estao fechadas',mtInformation,[mbOK],0);}
end;

procedure TForm1.Button1MouseUp(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
  Status_Placa1 := Status_Temp1;
  Status_Placa2 := Status_Temp2;
  Seta_Placas;
end;

end.

```

APÊNDICE C

OPERAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para a operação do segundo protótipo deve-se seguir uma seqüência de procedimentos para a preparação do equipamento e outra para a operação do mesmo:

C.1 - Preparação do equipamento

C.1.1 – Abastecimento com amônia.

O equipamento foi abastecido com solução de amônia a 25%. Para tanto foi removido o transmissor de pressão, montado na saída do retificador, e o protótipo foi posicionado na posição invertida de forma a escoar o fluido antigo. Recolocando o protótipo na posição correta, o abastecimento foi com o auxílio de um funil colocado no ponto de fixação do transdutor de pressão.

C.1.1 – Instalação do sistema de aquisição de dados

Instala-se o computador, com as placas de aquisição de dados ligada nas saídas seriais COM 1 e COM 3. O computador deve estar configurado com a configuração “usar teclas do mouse”, a qual permite o comando do computador unicamente pelo teclado, pois

uma das placas de aquisição de dados é ligada na porta COM 1, normalmente usada pelo mouse

Devem ser ligados os seguintes pontos de aquisição de dados:

- Transmissor de pressão do condensador
- Transmissor de pressão do gerador-absorvedor
- Termopar do gerador-absorvedor, que deve ser protegido por uma mangueira resistente a 250°C.
- Termopar para medição da temperatura ambiente.
- Termopar para medição da temperatura da câmara de aquecimento.
- Termoresistor para medição da temperatura ambiente.
- Termoresistor para medição da temperatura da água do condensador.
- Termoresistor para medição da temperatura da água do evaporador.
- A fiação do sistema de aquecimento foi ligada ao equipamento de medição da energia consumida

C.1.3 – Abastecimento dos trocadores de calor com água

O abastecimento do evaporador é feito com 5,5 litros de água. Tal processo foi feito com a bomba de circulação ligada e foi interrompido no momento em que a água começou a circular pelo funil de controle.

O abastecimento do condensador é feito com 18 litros de água. Esse abastecimento é feito pelo reservatório de água inferior, com a bomba de circulação acionada. O

abastecimento foi interrompido no momento em que a água começar a circular pelo funil de controle, retornando ao reservatório inferior.

O sistema de resfriamento do gerador-absorvedor só deve ter as mangueiras conectadas ao gerador-absorvedor e ser abastecido no momento em que for entrar em operação, evitando o derretimento das mesmas. Quando o protótipo ficar inativo por alguns dias, o abastecimento desse sistema pode ser feito com água aproveitada do resfriamento do condensador, de forma a utilizar essa água e evitando que a mesma fique parada dentro do trocador de calor. O sistema deve ser drenado antes de um novo aquecimento do gerador-absorvedor, o que é feito pela mangueira de retorno ao reservatório.

C.1.4 – Ligações elétricas

Devem ser providenciadas 5 tomadas 110 V, para a ligação das 3 bombas, da válvula de expansão e do relé de chaveamento do circuito de aquecimento. O circuito de aquecimento deve ser ligado a uma tomada de 220V, 1200W.

C.2 – Operação

C.2.1 – Sistema de aquisição de dados

Deve ser inicializado o sistema de aquisição de dados de forma a permitir o acompanhamento da operação do sistema.

C.2.2 - Fase de geração de vapor

Estando todas as válvulas fechadas, liga-se o aquecimento do gerador-absorvedor. Deve-se acompanhar, com particular atenção, o valor da pressão. No momento em que a pressão atingir o valor correspondente à pressão de condensação, abre-se a válvula de entrada do condensador e aciona-se a circulação de água pelo condensador. Desse instante em diante deve-se monitorar atentamente a temperatura e a pressão do gerador-absorvedor. Com os dados de pressão e temperatura da solução pode-se avaliar a concentração de amônia na solução. O aquecimento deve ser interrompido no momento em que a concentração for baixa a ponto do vapor de água condensado absorver toda a amônia evaporada. Nesse instante desliga-se o resistor de aquecimento, anota-se a energia consumida e fecha-se a válvula de entrada do condensador.

C.2.3 – Fase de resfriamento do gerador-absorvedor

São conectadas as mangueiras ao gerador-absorvedor, pois se as mesmas ficassem permanentemente ligadas poderiam derreter. Enche-se o reservatório de água e coloca-se a mangueira de retorno dentro do mesmo. Liga-se a bomba se circulação por curtos períodos para evitar o resfriamento abrupto do gerador-absorvedor e conseqüente contração e com possíveis danos ao material. Após redução da temperatura do gerador para aproximadamente 90 °C e elevação da temperatura da água para aproximadamente 50 °C liga-se a bomba de forma contínua. A água deve ser trocada ao observar-se que o

resfriamento do gerador absorvedor estiver ocorrendo de forma lenta, podendo-se classificar como lento menos de 0,5°C por minuto.

C.2.4 – Refrigeração da Carga

Estando a pressão do gerador-absorvedor em cerca de 0,5 bar liga-se a bomba de circulação do evaporador e abre-se a válvula de retorno do evaporador e passa-se a pulsar a válvula de expansão. A válvula foi ligada pelo menor intervalo de tempo possível enquanto se observa a temperatura da água do evaporador, no momento em que a temperatura volta a subir pulsa-se novamente a válvula de expansão. Tal processo deve-se repetir até que seja esgotado o estoque de amônia no condensador.

C.2.5 – Desligamento do equipamento

Encerra-se o programa de aquisição de dados e desliga-se o computador. Escoa-se, por meio de sifões, a água do evaporador e do condensador para o tanque de água para resfriamento. Liga-se a bomba de resfriamento para escoar a água do sistema. Desliga-se a fiação restante.

Apêndice 2.1

Apêndice 2.1

Neste apêndice são exibidas as tabelas que embasaram a análise de sensibilidade.

Tabela A - COP em função da temperatura de condensação

Temperatura de condensação [°C]	C.O.P.
27,8	15,1
28,9	14,4
30,0	13,7
31,1	12,9
32,2	12,3
33,4	11,7
34,4	11,1
35,6	10,4

Fonte: Calculado pela Planilha de dimensionamento

Tabela B - Massa de solução em função da potência frigorífica

Potência frigorífica [kJ]	Massa de solução [kg]
200	2,1
300	3,2
250	3,7
400	4,3
500	5,3
1000	10,6

Fonte: Calculado pela Planilha de dimensionamento

Apêndice 2.1

Tabela C - Energia consumida e massa da solução em função da duração da fase de refrigeração.

Duração da fase de refrigeração [min]	Energia consumida [kJ]	Massa de solução [kg]
10	2079	1,86
20	4136	3,72
30	6171	5,58
40	8181	7,44

Fonte: Calculado pela Planilha de dimensionamento

Tabela D - Energia de aquecimento e COP em função da concentração de solução de amônia.

Concentração de solução rica [%]	COP	Q1 [kJ]
20	7,8	2695
21	8,4	2285
22	9	1968
23	9,5	1716
24	10	1510
25	10,4	1339
26	10,8	1195
27	11,2	1071
28	11,5	964
29	11,7	871
30	12,1	798

Fonte: Calculado pela Planilha de dimensionamento

Apêndice 2.1

Tabela E - COP e percentagem de amônia reabsorvida em função da temperatura de geração.

Temperatura final de geração [°C]	Reabsorção [%]	COP
130	31,5	2,1
140	43,9	5,9
145	51,7	7,3
150	60,7	8,7
155	70,4	10,2
160	80,7	11,5

Fonte: Calculado pela Planilha de dimensionamento

Tabela F - COP e massa de solução de amônia em função da temperatura de evaporação.

Temperatura de evaporação [°C]	Massa de solução rica [kg]	COP
-30	3,75	10,1
-25	3,73	10,2
-20	3,71	10,2
-15	3,69	10,1
-10	3,67	10,1
-5	3,63	10,1

Fonte: Calculado pela Planilha de dimensionamento

Apêndice 3.1 – Dados relativos a fase de aquecimento (primeiro protótipo)

Fase de aquecimento com interrupção devido ao limite de pressão.

Tempo [min]	Temperatura do gerador [°C]	Pressão [PSI]	Concentração [%]
0	25	-10	26
5	47	8	25,5
10	65	22	25
15	82	50	24,8
20	85	99	24,6
25	115	125	23,5
30	128	190	25,5
35	128	170	22,1
40	138	205	22,2
45	146	230	20,5
50	155	260	19,8
55	162	285	19,0
28	166	300	18,0

Abertura da válvula de expansão

Dados coletados em 13/04/1996

Fase de aquecimento com interrupção devido a redução da concentração

Tempo [min]	Temperatura do gerador [°C]	Pressão [PSI]	Título [%]
0	20	10	40,0
5	35	12	32,0
10	50	25	28,0
15	67	48	25,0
20	83	75	27,1
25	97	110	25,3
30	110	150	26,2
35	125	200	23,5
35	132	136	18,0
40	140	140	20,5
45	147	147	19,0
50	155	152	18,0
55	160	158	16,0
60	165	163	15,3
65	168	167	14,9

Abertura da válvula de expansão

Dados coletados em 13/04/1996.

Apêndice 3.2 – Temperatura do evaporador (Primeiro protótipo)

Tempo [min]	Temperatura do gerador [°C]	Temperatura do gabinete [°C]	Temperatura da carga [°C]
0	17	19,0	19,5
2	17	18,0	19,5
4	17	16,0	19,0
6	18	14,0	18,0
8	20	11,5	18,0
10	22	6,0	18,0
12	25	-2,0	17,5
14	27	-6,0	17,0
16	31	-10,5	17,0
18	32	-12,0	16,0
20	34	-12,0	15,5
22	35	-13,0	15,5
24	35	-12,0	14,5
26	35	-11,0	14,5
28	35	-10,0	14,0
30	35	-7,0	13,5
32	35	-6,0	13,5
34	35	-5,0	12,5
36	36	-3,0	12,5
38	36	-2,0	12,0
43	36	-0,5	12,0
48	36	0,5	11,0
53	36	0,5	11,0
58	36	2,0	10,5
63	36	4,0	10,5
68	36	6,0	10,0
83	35	9,0	10,0

Dados coletados em 17/04/1996.

PC Based Temperature and Humidity monitoring

These units simply plug into the serial port of your PC (no power required) allowing you to measure temperature or humidity. The [TH-03](#) uses precision thermistor sensors, the [TC-08](#) uses thermocouples whilst the [RH-02](#) has built in sensors for humidity and temperature. They offer a very simple and cost effective way to monitor and record temperatures and humidity on your PC using the supplied PicoLog software. For users who wish to write their own software, [drivers and examples](#) are included for C, Pascal, Delphi and Visual Basic. A macro is also included that collect data directly into an Excel spreadsheet

PicoLog Data Logging Software

PicoLog is a powerful but flexible data logging package for collecting, analysing and displaying data from the Pico Technology ADC range. PicoLog software can collect data at rates from once per second to once per hour: up to 1 million samples can be collected. Data can be displayed in both graphical or spreadsheet format, both during and after data collection. PicoLog has a wide range of functions to assist in the collection, monitoring, analysis and display of data.

- Easy to setup and use with on line help
- Real time data collection, analysis and display
- Programmable alarm limits can be set for each channel
- Data can be exported to spreadsheets and data bases
- Save multiple setups for different tests and experiments
- Can be used with desktop or laptop PCs
- Supports multiple loggers on the same PC
- Uses PC monitor to give large colour display, ideal for education and training
- Waveforms can be saved, printed, faxed or e-mailed from your PC

TC-08 Thermocouple to PC converter

Features

- Records up to 8 thermocouples
- Works with all popular thermocouple types
- Built in cold junction compensation
- No power supply required

The TC-08 is an 8 channel thermocouple to PC interface, it can measure the full range of temperatures from -270°C to +1800°C and works with all popular types (B,E,J,K,N,R,S,T). There is also a 60mV range which can be used for other types of sensor.

The TC-08 is very easy to use - just plug into the serial port of your computer, connect a thermocouple and you are ready to measure temperatures. See also our advice on choosing and using [thermocouples](#)

Resolution and Accuracy

Thermo type	Overall range	0.1°C resolution	0.025°C resolution
B	100-1800	1030-1800	-
E	-270-790	-240-790	-140-790
J	-210-1050	-210-1050	-120-1050
K	-270-1300	-220-1300	-20-1150
N	-260-1300	-210-1300	340-1260
R	-50-1760	-333-1760	-
S	-50-1760	250-1760	-
T	-270-400	-230-400	-

Specification

No of channels	8
Accuracy	±0.4%
Conversion time	200ms for cold junction compensation + 200ms per active channel
Input connectors	Minature thermocouple
Output connector	D9 female to serial port (Cable and D25 adaptor included)

TH-03 Thermistor to PC Converter**Features**

- High accuracy at low cost
- Connects to computer serial port
- No power supply required
- Supplied with PicoLog and drivers
- Works with EnviroMon sensors (temperature, light, door switch)

The TH-03 allows up to 3 channels of temperature to be recorded onto your PC. It uses precision thermistor sensors to give an accuracy that was previously only obtainable using expensive platinum PT100 sensors.

The TH-03 is very easy to use - just plug into the serial port on your computer, connect up to three sensors and you are ready to start collecting data. It accepts the EnviroMon range of sensors, and so can measure temperatures from -55°C to 300°C, check light levels or record the position of a door... or anything else to which you can connect a magnet or micro-switch.

Specification

Size	125 x 60 x 30 mm
Max sensors	3
Computer connection	D9 to serial port: cable and D25 adaptor supplied
Conversion time	2 sec for calibration + 1 sec per active channel
Range	-20°C to +130°C. (Using standard sensor)
Accuracy	±0.2°C (Over 0 to 70°C range)

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Segundos Tempo	°C T gerador	bar Pressão
5	41,3	2,8	235	41,7	2,9
10	41,3	2,8	240	41,7	2,9
15	41,3	2,8	245	41,7	2,9
20	41,3	2,8	250	41,8	2,9
25	41,3	2,8	255	41,8	2,9
30	41,3	2,8	260	41,9	2,9
35	41,3	2,8	265	41,9	2,9
40	41,3	2,8	270	42,0	2,9
45	41,3	2,8	275	42,1	2,9
50	41,3	2,8	280	42,1	2,9
55	41,3	2,8	285	42,2	2,9
60	41,3	2,8	290	42,3	2,9
65	41,3	2,8	295	42,4	2,9
70	41,3	2,8	300	42,4	2,9
75	41,3	2,8	305	42,5	2,9
80	41,3	2,8	310	42,6	2,9
85	41,3	2,8	315	42,7	2,9
90	41,3	2,8	320	42,7	2,9
95	41,3	2,8	325	42,8	3,0
100	41,3	2,8	330	42,9	3,0
105	41,3	2,8	335	42,9	3,0
110	41,3	2,8	340	43,0	3,0
115	41,3	2,8	345	43,1	3,0
120	41,3	2,8	350	43,2	3,0
125	41,3	2,8	355	43,3	3,0
130	41,3	2,8	360	43,3	3,0
135	41,3	2,8	365	43,4	3,0
140	41,3	2,8	370	43,5	3,0
145	41,3	2,8	375	43,6	3,0
150	41,3	2,8	380	43,7	3,0
155	41,3	2,8	385	43,8	3,0
160	41,3	2,8	390	43,9	3,0
165	41,4	2,9	395	44,0	3,0
170	41,4	2,9	400	44,1	3,0
175	41,4	2,9	405	44,2	3,0
180	41,4	2,9	410	44,3	3,1
185	41,4	2,9	415	44,4	3,1
190	41,4	2,9	420	44,5	3,1
195	41,4	2,9	425	44,6	3,1
200	41,5	2,9	430	44,7	3,1
205	41,5	2,9	435	44,8	3,1
210	41,5	2,9	440	44,9	3,1
215	41,5	2,9	445	45,0	3,1
220	41,5	2,9	450	45,1	3,1
225	41,6	2,9	455	45,2	3,1
230	41,6	2,9	460	45,3	3,1

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
465	45,4	3,1	695	51,0	3,5
470	45,5	3,1	700	51,1	3,5
475	45,6	3,1	705	51,3	3,5
480	45,7	3,2	710	51,4	3,5
485	45,8	3,2	715	51,5	3,6
490	45,9	3,2	720	51,6	3,6
495	46,0	3,2	725	51,8	3,6
500	46,2	3,2	730	51,9	3,6
505	46,3	3,2	735	52,0	3,6
510	46,4	3,2	740	52,2	3,6
515	46,5	3,2	745	52,3	3,6
520	46,6	3,2	750	52,5	3,6
525	46,7	3,2	755	52,6	3,6
530	46,8	3,2	760	52,8	3,6
535	47,0	3,2	765	52,9	3,6
540	47,1	3,2	770	53,0	3,7
545	47,2	3,3	775	53,2	3,7
550	47,3	3,3	780	53,3	3,7
555	47,4	3,3	785	53,4	3,7
560	47,6	3,3	790	53,6	3,7
565	47,7	3,3	795	53,7	3,7
570	47,8	3,3	800	53,9	3,7
575	47,9	3,3	805	54,0	3,7
580	48,1	3,3	810	54,1	3,7
585	48,2	3,3	815	54,3	3,7
590	48,3	3,3	820	54,4	3,8
595	48,4	3,3	825	54,6	3,8
600	48,5	3,3	830	54,7	3,8
605	48,7	3,4	835	54,8	3,8
610	48,8	3,4	840	55,0	3,8
615	48,9	3,4	845	55,1	3,8
620	49,1	3,4	850	55,2	3,8
625	49,2	3,4	855	55,4	3,8
630	49,3	3,4	860	55,6	3,8
635	49,5	3,4	865	55,7	3,8
640	49,6	3,4	870	55,8	3,8
645	49,7	3,4	875	56,0	3,9
650	49,9	3,4	880	56,1	3,9
655	50,0	3,4	885	56,3	3,9
660	50,1	3,5	890	56,4	3,9
665	50,3	3,5	895	56,5	3,9
670	50,4	3,5	900	56,7	3,9
675	50,5	3,5	905	56,8	3,9
680	50,6	3,5	910	57,0	3,9
685	50,8	3,5	915	57,1	3,9
690	50,9	3,5	920	57,3	3,9

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
925	57,4	4,0	1155	64,0	4,4
930	57,5	4,0	1160	64,2	4,4
935	57,7	4,0	1165	64,3	4,4
940	57,8	4,0	1170	64,5	4,4
945	58,0	4,0	1175	64,6	4,5
950	58,1	4,0	1180	64,8	4,5
955	58,3	4,0	1185	64,9	4,5
960	58,4	4,0	1190	65,1	4,5
965	58,6	4,0	1195	65,3	4,5
970	58,7	4,0	1200	65,4	4,5
975	58,9	4,1	1205	65,6	4,5
980	59,0	4,1	1210	65,7	4,5
985	59,1	4,1	1215	65,8	4,5
990	59,3	4,1	1220	66,0	4,6
995	59,4	4,1	1225	66,2	4,6
1000	59,5	4,1	1230	66,3	4,6
1005	59,7	4,1	1235	66,4	4,6
1010	59,9	4,1	1240	66,6	4,6
1015	60,0	4,1	1245	66,7	4,6
1020	60,1	4,1	1250	66,9	4,6
1025	60,3	4,2	1255	67,0	4,6
1030	60,4	4,2	1260	67,2	4,6
1035	60,6	4,2	1265	67,3	4,6
1040	60,7	4,2	1270	67,5	4,7
1045	60,9	4,2	1275	67,6	4,7
1050	61,0	4,2	1280	67,8	4,7
1055	61,2	4,2	1285	67,9	4,7
1060	61,3	4,2	1290	68,0	4,7
1065	61,4	4,2	1295	68,2	4,7
1070	61,6	4,2	1300	68,3	4,7
1075	61,7	4,3	1305	68,5	4,7
1080	61,9	4,3	1310	68,7	4,7
1085	62,1	4,3	1315	68,8	4,7
1090	62,2	4,3	1320	68,9	4,8
1095	62,3	4,3	1325	69,1	4,8
1100	62,5	4,3	1330	69,2	4,8
1105	62,6	4,3	1335	69,4	4,8
1110	62,8	4,3	1340	69,5	4,8
1115	62,9	4,3	1345	69,7	4,8
1120	63,1	4,3	1350	69,8	4,8
1125	63,2	4,4	1355	70,0	4,8
1130	63,4	4,4	1360	70,1	4,8
1135	63,5	4,4	1365	70,3	4,8
1140	63,6	4,4	1370	70,4	4,9
1145	63,8	4,4	1375	70,6	4,9
1150	63,9	4,4	1380	70,7	4,9

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
1385	70,9	4,9	1615	77,5	5,3
1390	71,0	4,9	1620	77,7	5,4
1395	71,1	4,9	1625	77,8	5,4
1400	71,3	4,9	1630	78,0	5,4
1405	71,4	4,9	1635	78,1	5,4
1410	71,6	4,9	1640	78,3	5,4
1415	71,7	4,9	1645	78,4	5,4
1420	71,9	5,0	1650	78,6	5,4
1425	72,0	5,0	1655	78,7	5,4
1430	72,2	5,0	1660	78,8	5,4
1435	72,3	5,0	1665	79,0	5,4
1440	72,4	5,0	1670	79,1	5,5
1445	72,6	5,0	1675	79,3	5,5
1450	72,7	5,0	1680	79,4	5,5
1455	72,9	5,0	1685	79,5	5,5
1460	73,0	5,0	1690	79,7	5,5
1465	73,2	5,0	1695	79,8	5,5
1470	73,3	5,1	1700	79,9	5,5
1475	73,5	5,1	1705	80,1	5,5
1480	73,6	5,1	1710	80,2	5,5
1485	73,8	5,1	1715	80,4	5,5
1490	73,9	5,1	1720	80,5	5,5
1495	74,0	5,1	1725	80,7	5,6
1500	74,2	5,1	1730	80,8	5,6
1505	74,3	5,1	1735	81,0	5,6
1510	74,5	5,1	1740	81,1	5,6
1515	74,6	5,1	1745	81,2	5,6
1520	74,7	5,2	1750	81,4	5,6
1525	74,9	5,2	1755	81,5	5,6
1530	75,1	5,2	1760	81,7	5,6
1535	75,2	5,2	1765	81,8	5,6
1540	75,4	5,2	1770	81,9	5,6
1545	75,5	5,2	1775	82,1	5,7
1550	75,7	5,2	1780	82,2	5,7
1555	75,8	5,2	1785	82,3	5,7
1560	75,9	5,2	1790	82,5	5,7
1565	76,1	5,2	1795	82,7	5,7
1570	76,2	5,3	1800	82,8	5,7
1575	76,4	5,3	1805	82,9	5,7
1580	76,5	5,3	1810	83,1	5,7
1585	76,7	5,3	1815	83,2	5,7
1590	76,8	5,3	1820	83,4	5,7
1595	77,0	5,3	1825	83,5	5,8
1600	77,1	5,3	1830	83,6	5,8
1605	77,3	5,3	1835	83,8	5,8
1610	77,4	5,3	1840	83,9	5,8

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
1845	84,1	5,8	2075	90,7	6,3
1850	84,3	5,8	2080	90,9	6,3
1855	84,4	5,8	2085	91,0	6,3
1860	84,6	5,8	2090	91,2	6,3
1865	84,7	5,8	2095	91,3	6,3
1870	84,9	5,9	2100	91,4	6,3
1875	85,0	5,9	2105	91,6	6,3
1880	85,2	5,9	2110	91,7	6,3
1885	85,3	5,9	2115	91,9	6,3
1890	85,4	5,9	2120	92,0	6,3
1895	85,6	5,9	2125	92,2	6,4
1900	85,8	5,9	2130	92,3	6,4
1905	85,9	5,9	2135	92,4	6,4
1910	86,1	5,9	2140	92,5	6,4
1915	86,2	5,9	2145	92,7	6,4
1920	86,3	6,0	2150	92,8	6,4
1925	86,5	6,0	2155	93,0	6,4
1930	86,6	6,0	2160	93,1	6,4
1935	86,8	6,0	2165	93,3	6,4
1940	86,9	6,0	2170	93,4	6,4
1945	87,1	6,0	2175	93,5	6,4
1950	87,2	6,0	2180	93,7	6,5
1955	87,4	6,0	2185	93,9	6,5
1960	87,5	6,0	2190	94,0	6,5
1965	87,6	6,0	2195	94,1	6,5
1970	87,8	6,1	2200	94,2	6,5
1975	87,9	6,1	2205	94,3	6,5
1980	88,0	6,1	2210	94,4	6,5
1985	88,2	6,1	2215	94,6	6,5
1990	88,3	6,1	2220	94,7	6,5
1995	88,5	6,1	2225	94,9	6,5
2000	88,6	6,1	2230	95,0	6,5
2005	88,7	6,1	2235	95,2	6,6
2010	88,9	6,1	2240	95,3	6,6
2015	89,0	6,1	2245	95,4	6,6
2020	89,1	6,1	2250	95,6	6,6
2025	89,3	6,2	2255	95,7	6,6
2030	89,4	6,2	2260	95,8	6,6
2035	89,5	6,2	2265	95,9	6,6
2040	89,7	6,2	2270	96,1	6,6
2045	89,9	6,2	2275	96,2	6,6
2050	90,0	6,2	2280	96,3	6,6
2055	90,2	6,2	2285	96,4	6,6
2060	90,3	6,2	2290	96,7	6,7
2065	90,5	6,2	2295	96,7	6,7
2070	90,6	6,2	2300	96,9	6,7

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
2305	97,0	6,7	2535	101,9	7,0
2310	97,1	6,7	2540	102,1	7,0
2315	97,3	6,7	2545	102,1	7,0
2320	97,4	6,7	2550	102,3	7,1
2325	97,5	6,7	2555	102,4	7,1
2330	97,6	6,7	2560	102,5	7,1
2335	97,8	6,7	2565	102,7	7,1
2340	97,8	6,7	2570	102,8	7,1
2345	98,0	6,8	2575	102,9	7,1
2350	98,1	6,8	2580	103,1	7,1
2355	98,2	6,8	2585	103,2	7,1
2360	98,3	6,8	2590	103,2	7,1
2365	98,4	6,8	2595	103,4	7,1
2370	98,5	6,8	2600	103,5	7,1
2375	98,6	6,8	2605	103,6	7,1
2380	98,7	6,8	2610	103,7	7,2
2385	98,8	6,8	2615	103,9	7,2
2390	98,8	6,8	2620	104,0	7,2
2395	99,0	6,8	2625	104,1	7,2
2400	99,1	6,8	2630	104,2	7,2
2405	99,1	6,8	2635	104,4	7,2
2410	99,3	6,8	2640	104,4	7,2
2415	99,4	6,9	2645	104,5	7,2
2420	99,5	6,9	2650	104,7	7,2
2425	99,6	6,9	2655	104,9	7,2
2430	99,7	6,9	2660	105,0	7,2
2435	99,8	6,9	2665	105,1	7,2
2440	99,9	6,9	2670	105,2	7,3
2445	100,0	6,9	2675	105,3	7,3
2450	100,1	6,9	2680	105,5	7,3
2455	100,2	6,9	2685	105,5	7,3
2460	100,3	6,9	2690	105,6	7,3
2465	100,4	6,9	2695	105,8	7,3
2470	100,6	6,9	2700	105,9	7,3
2475	100,7	6,9	2705	106,0	7,3
2480	100,7	6,9	2710	106,1	7,3
2485	100,9	7,0	2715	106,2	7,3
2490	101,0	7,0	2720	106,4	7,3
2495	101,1	7,0	2725	106,5	7,3
2500	101,2	7,0	2730	106,6	7,3
2505	101,3	7,0	2735	106,7	7,4
2510	101,4	7,0	2740	106,8	7,4
2515	101,6	7,0	2745	106,9	7,4
2520	101,6	7,0	2750	107,0	7,4
2525	101,7	7,0	2755	107,1	7,4
2530	101,8	7,0	2760	107,2	7,4

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
2765	107,4	7,4	2995	112,0	7,7
2770	107,5	7,4	3000	112,1	7,7
2775	107,6	7,4	3005	112,2	7,7
2780	107,7	7,4	3010	112,3	7,7
2785	107,8	7,4	3015	112,4	7,7
2790	107,9	7,4	3020	112,4	7,8
2795	108,0	7,4	3025	112,5	7,8
2800	108,2	7,5	3030	112,6	7,8
2805	108,2	7,5	3035	112,7	7,8
2810	108,3	7,5	3040	112,7	7,8
2815	108,5	7,5	3045	112,8	7,8
2820	108,5	7,5	3050	112,9	7,8
2825	108,7	7,5	3055	113,0	7,8
2830	108,9	7,5	3060	113,1	7,8
2835	108,9	7,5	3065	113,2	7,8
2840	109,0	7,5	3070	113,2	7,8
2845	109,1	7,5	3075	113,3	7,8
2850	109,3	7,5	3080	113,4	7,8
2855	109,3	7,5	3085	113,4	7,8
2860	109,4	7,5	3090	113,5	7,8
2865	109,5	7,6	3095	113,6	7,8
2870	109,7	7,6	3100	113,7	7,8
2875	109,7	7,6	3105	113,8	7,8
2880	109,8	7,6	3110	113,9	7,9
2885	109,9	7,6	3115	114,0	7,9
2890	110,1	7,6	3120	114,0	7,9
2895	110,1	7,6	3125	114,1	7,9
2900	110,2	7,6	3130	114,1	7,9
2905	110,4	7,6	3135	114,2	7,9
2910	110,4	7,6	3140	114,3	7,9
2915	110,5	7,6	3145	114,4	7,9
2920	110,6	7,6	3150	114,4	7,9
2925	110,7	7,6	3155	114,5	7,9
2930	110,8	7,6	3160	114,6	7,9
2935	110,9	7,6	3165	114,6	7,9
2940	111,0	7,7	3170	114,7	7,9
2945	111,1	7,7	3175	114,8	7,9
2950	111,2	7,7	3180	114,8	7,9
2955	111,3	7,7	3185	114,8	7,9
2960	111,4	7,7	3190	115,0	7,9
2965	111,5	7,7	3195	115,0	7,9
2970	111,6	7,7	3200	115,1	7,9
2975	111,6	7,7	3205	115,1	7,9
2980	111,7	7,7	3210	115,2	7,9
2985	111,8	7,7	3215	115,3	7,9
2990	111,9	7,7	3220	115,3	7,9

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
3225	115,4	8,0	3455	117,9	8,1
3230	115,4	8,0	3460	117,9	8,1
3235	115,5	8,0	3465	118,0	8,1
3240	115,6	8,0	3470	118,0	8,1
3245	115,7	8,0	3475	118,1	8,1
3250	115,7	8,0	3480	118,1	8,1
3255	115,7	8,0	3485	118,2	8,2
3260	115,8	8,0	3490	118,2	8,2
3265	115,8	8,0	3495	118,3	8,2
3270	115,9	8,0	3500	118,3	8,2
3275	116,0	8,0	3505	118,4	8,2
3280	116,0	8,0	3510	118,4	8,2
3285	116,1	8,0	3515	118,5	8,2
3290	116,2	8,0	3520	118,5	8,2
3295	116,2	8,0	3525	118,6	8,2
3300	116,2	8,0	3530	118,7	8,2
3305	116,3	8,0	3535	118,7	8,2
3310	116,3	8,0	3540	118,8	8,2
3315	116,4	8,0	3545	118,8	8,2
3320	116,4	8,0	3550	118,8	8,2
3325	116,5	8,0	3555	118,9	8,2
3330	116,5	8,0	3560	118,9	8,2
3335	116,6	8,0	3565	119,0	8,2
3340	116,7	8,0	3570	119,0	8,2
3345	116,7	8,0	3575	119,1	8,2
3350	116,8	8,1	3580	119,1	8,2
3355	116,8	8,1	3585	119,2	8,2
3360	116,8	8,1	3590	119,2	8,2
3365	116,9	8,1	3595	119,2	8,2
3370	117,0	8,1	3600	119,3	8,2
3375	117,0	8,1	3605	119,4	8,2
3380	117,1	8,1	3610	119,4	8,2
3385	117,1	8,1	3615	119,5	8,2
3390	117,2	8,1	3620	119,6	8,2
3395	117,3	8,1	3625	119,6	8,2
3400	117,3	8,1	3630	119,6	8,2
3405	117,3	8,1	3635	119,7	8,3
3410	117,4	8,1	3640	119,7	8,3
3415	117,5	8,1	3645	119,8	8,3
3420	117,5	8,1	3650	119,8	8,3
3425	117,6	8,1	3655	119,9	8,3
3430	117,6	8,1	3660	120,0	8,3
3435	117,7	8,1	3665	120,0	8,3
3440	117,7	8,1	3670	120,0	8,3
3445	117,7	8,1	3675	120,1	8,3
3450	117,8	8,1	3680	120,1	8,3

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
3685	120,2	8,3	3915	122,5	8,4
3690	120,2	8,3	3920	122,6	8,5
3695	120,3	8,3	3925	122,6	8,5
3700	120,3	8,3	3930	122,6	8,5
3705	120,4	8,3	3935	122,7	8,5
3710	120,4	8,3	3940	122,8	8,5
3715	120,5	8,3	3945	122,8	8,5
3720	120,5	8,3	3950	122,9	8,5
3725	120,6	8,3	3955	122,9	8,5
3730	120,7	8,3	3960	123,0	8,5
3735	120,7	8,3	3965	123,0	8,5
3740	120,7	8,3	3970	123,1	8,5
3745	120,8	8,3	3975	123,2	8,5
3750	120,9	8,3	3980	123,2	8,5
3755	120,9	8,3	3985	123,2	8,5
3760	121,0	8,3	3990	123,3	8,5
3765	121,0	8,3	3995	123,3	8,5
3770	121,0	8,3	4000	123,4	8,5
3775	121,1	8,3	4005	123,4	8,5
3780	121,1	8,4	4010	123,4	8,5
3785	121,2	8,4	4015	123,5	8,5
3790	121,3	8,4	4020	123,6	8,5
3795	121,3	8,4	4025	123,6	8,5
3800	121,3	8,4	4030	123,7	8,5
3805	121,4	8,4	4035	123,7	8,5
3810	121,5	8,4	4040	123,8	8,5
3815	121,5	8,4	4045	123,8	8,5
3820	121,6	8,4	4050	123,9	8,5
3825	121,6	8,4	4055	123,9	8,5
3830	121,7	8,4	4060	124,0	8,5
3835	121,7	8,4	4065	124,0	8,5
3840	121,8	8,4	4070	124,1	8,6
3845	121,8	8,4	4075	124,2	8,6
3850	121,9	8,4	4080	124,2	8,6
3855	121,9	8,4	4085	124,2	8,6
3860	121,9	8,4	4090	124,3	8,6
3865	122,0	8,4	4095	124,3	8,6
3870	122,0	8,4	4100	124,3	8,6
3875	122,1	8,4	4105	124,4	8,6
3880	122,1	8,4	4110	124,5	8,6
3885	122,2	8,4	4115	124,5	8,6
3890	122,2	8,4	4120	124,5	8,6
3895	122,3	8,4	4125	124,6	8,6
3900	122,3	8,4	4130	124,7	8,6
3905	122,4	8,4	4135	124,7	8,6
3910	122,5	8,4	4140	124,8	8,6

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
4145	124,8	8,6	4375	127,0	8,8
4150	124,8	8,6	4380	127,0	8,8
4155	124,9	8,6	4385	127,2	8,8
4160	125,0	8,6	4390	127,2	8,8
4165	125,0	8,6	4395	127,2	8,8
4170	125,0	8,6	4400	127,3	8,8
4175	125,1	8,6	4405	127,3	8,8
4180	125,1	8,6	4410	127,4	8,8
4185	125,2	8,6	4415	127,4	8,8
4190	125,3	8,6	4420	127,5	8,8
4195	125,3	8,6	4425	127,5	8,8
4200	125,3	8,6	4430	127,5	8,8
4205	125,3	8,6	4435	127,6	8,8
4210	125,4	8,6	4440	127,6	8,8
4215	125,5	8,7	4445	127,7	8,8
4220	125,5	8,7	4450	127,8	8,8
4225	125,6	8,7	4455	127,9	8,8
4230	125,6	8,7	4460	127,9	8,8
4235	125,7	8,7	4465	127,9	8,8
4240	125,8	8,7	4470	128,0	8,8
4245	125,8	8,7	4475	128,0	8,8
4250	125,8	8,7	4480	128,1	8,8
4255	125,9	8,7	4485	128,1	8,8
4260	125,9	8,7	4490	128,1	8,8
4265	125,9	8,7	4495	128,2	8,8
4270	126,0	8,7	4500	128,3	8,8
4275	126,1	8,7	4505	128,3	8,8
4280	126,1	8,7	4510	128,4	8,9
4285	126,2	8,7	4515	128,4	8,9
4290	126,2	8,7	4520	128,4	8,9
4295	126,2	8,7	4525	128,5	8,9
4300	126,3	8,7	4530	128,6	8,9
4305	126,3	8,7	4535	128,6	8,9
4310	126,4	8,7	4540	128,6	8,9
4315	126,5	8,7	4545	128,7	8,9
4320	126,5	8,7	4550	128,7	8,9
4325	126,5	8,7	4555	128,8	8,9
4330	126,6	8,7	4560	128,9	8,9
4335	126,7	8,7	4565	128,9	8,9
4340	126,7	8,7	4570	129,0	8,9
4345	126,8	8,7	4575	129,0	8,9
4350	126,8	8,7	4580	129,1	8,9
4355	126,9	8,7	4585	129,1	8,9
4360	126,9	8,7	4590	129,2	8,9
4365	127,0	8,8	4595	129,2	8,9
4370	127,0	8,8	4600	129,2	8,9

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
4605	129,3	8,9	4835	131,8	9,1
4610	129,4	8,9	4840	131,8	9,1
4615	129,4	8,9	4845	131,9	9,1
4620	129,4	8,9	4850	132,0	9,1
4625	129,5	8,9	4855	132,0	9,1
4630	129,6	8,9	4860	132,1	9,1
4635	129,6	8,9	4865	132,1	9,1
4640	129,7	8,9	4870	132,2	9,1
4645	129,7	8,9	4875	132,2	9,1
4650	129,8	8,9	4880	132,2	9,1
4655	129,8	9,0	4885	132,2	9,1
4660	129,9	9,0	4890	132,3	9,1
4665	130,0	9,0	4895	132,4	9,1
4670	130,0	9,0	4900	132,4	9,1
4675	130,0	9,0	4905	132,4	9,1
4680	130,1	9,0	4910	132,5	9,1
4685	130,2	9,0	4915	132,6	9,1
4690	130,2	9,0	4920	132,6	9,1
4695	130,3	9,0	4925	132,6	9,1
4700	130,3	9,0	4930	132,7	9,1
4705	130,3	9,0	4935	132,7	9,1
4710	130,5	9,0	4940	132,7	9,2
4715	130,5	9,0	4945	132,8	9,2
4720	130,5	9,0	4950	132,8	9,2
4725	130,6	9,0	4955	132,8	9,2
4730	130,6	9,0	4960	132,9	9,2
4735	130,7	9,0	4965	132,9	9,2
4740	130,8	9,0	4970	132,9	9,2
4745	130,8	9,0	4975	132,9	9,2
4750	130,8	9,0	4980	133,0	9,2
4755	130,9	9,0	4985	133,0	9,2
4760	131,0	9,0	4990	133,1	9,2
4765	131,1	9,0	4995	133,1	9,2
4770	131,1	9,0	5000	133,2	9,2
4775	131,2	9,0	5005	133,3	9,2
4780	131,3	9,1	5010	133,3	9,2
4785	131,3	9,1	5015	133,3	9,2
4790	131,4	9,1	5020	133,4	9,2
4795	131,4	9,1	5025	133,5	9,2
4800	131,4	9,1	5030	133,5	9,2
4805	131,5	9,1	5035	133,5	9,2
4810	131,6	9,1	5040	133,6	9,2
4815	131,7	9,1	5045	133,6	9,2
4820	131,7	9,1	5050	133,7	9,2
4825	131,7	9,1	5055	133,8	9,2
4830	131,7	9,1	5060	133,8	9,2

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
5065	133,9	9,2	5295	136,3	9,4
5070	133,9	9,2	5300	136,4	9,4
5075	133,9	9,2	5305	136,4	9,4
5080	134,0	9,2	5310	136,5	9,4
5085	134,0	9,2	5315	136,5	9,4
5090	134,0	9,2	5320	136,6	9,4
5095	134,1	9,2	5325	136,6	9,4
5100	134,2	9,3	5330	136,6	9,4
5105	134,3	9,3	5335	136,7	9,4
5110	134,3	9,3	5340	136,7	9,4
5115	134,4	9,3	5345	136,8	9,4
5120	134,4	9,3	5350	136,9	9,4
5125	134,4	9,3	5355	136,9	9,4
5130	134,5	9,3	5360	136,9	9,4
5135	134,6	9,3	5365	136,9	9,4
5140	134,7	9,3	5370	136,9	9,4
5145	134,7	9,3	5375	137,0	9,4
5150	134,7	9,3	5380	137,1	9,4
5155	134,7	9,3	5385	137,1	9,5
5160	134,8	9,3	5390	137,1	9,5
5165	134,9	9,3	5395	137,1	9,5
5170	135,0	9,3	5400	137,2	9,5
5175	135,0	9,3	5405	137,2	9,5
5180	135,0	9,3	5410	137,3	9,5
5185	135,1	9,3	5415	137,3	9,5
5190	135,1	9,3	5420	137,4	9,5
5195	135,1	9,3	5425	137,4	9,5
5200	135,2	9,3	5430	137,4	9,5
5205	135,3	9,3	5435	137,4	9,5
5210	135,3	9,3	5440	137,4	9,5
5215	135,3	9,3	5445	137,5	9,5
5220	135,4	9,3	5450	137,6	9,5
5225	135,5	9,3	5455	137,6	9,5
5230	135,5	9,3	5460	137,7	9,5
5235	135,6	9,4	5465	137,7	9,5
5240	135,7	9,4	5470	137,7	9,5
5245	135,7	9,4	5475	137,8	9,5
5250	135,8	9,4	5480	137,8	9,5
5255	135,9	9,4	5485	137,9	9,5
5260	135,9	9,4	5490	137,9	9,5
5265	136,0	9,4	5495	138,0	9,5
5270	136,0	9,4	5500	138,0	9,5
5275	136,0	9,4	5505	138,1	9,5
5280	136,1	9,4	5510	138,1	9,5
5285	136,1	9,4	5515	138,1	9,5
5290	136,2	9,4	5520	138,2	9,5

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
5525	138,3	9,5	5755	140,7	9,7
5530	138,3	9,5	5760	140,8	9,7
5535	138,4	9,5	5765	140,9	9,7
5540	138,5	9,5	5770	140,9	9,7
5545	138,5	9,5	5775	141,0	9,7
5550	138,5	9,6	5780	141,0	9,7
5555	138,6	9,6	5785	141,1	9,7
5560	138,6	9,6	5790	141,2	9,7
5565	138,6	9,6	5795	141,2	9,7
5570	138,7	9,6	5800	141,2	9,7
5575	138,8	9,6	5805	141,3	9,7
5580	138,8	9,6	5810	141,3	9,7
5585	138,8	9,6	5815	141,3	9,7
5590	138,9	9,6	5820	141,4	9,7
5595	139,0	9,6	5825	141,4	9,8
5600	139,0	9,6	5830	141,5	9,8
5605	139,1	9,6	5835	141,5	9,8
5610	139,1	9,6	5840	141,5	9,8
5615	139,2	9,6	5845	141,5	9,8
5620	139,3	9,6	5850	141,6	9,8
5625	139,4	9,6	5855	141,6	9,8
5630	139,4	9,6	5860	141,7	9,8
5635	139,5	9,6	5865	141,8	9,8
5640	139,6	9,6	5870	141,8	9,8
5645	139,6	9,6	5875	141,8	9,8
5650	139,6	9,6	5880	141,8	9,8
5655	139,6	9,6	5885	141,9	9,8
5660	139,7	9,6	5890	141,9	9,8
5665	139,8	9,6	5895	142,0	9,8
5670	139,9	9,6	5900	142,0	9,8
5675	139,9	9,6	5905	142,1	9,8
5680	140,0	9,6	5910	142,1	9,8
5685	140,0	9,7	5915	142,1	9,8
5690	140,0	9,7	5920	142,2	9,8
5695	140,1	9,7	5925	142,2	9,8
5700	140,2	9,7	5930	142,2	9,8
5705	140,2	9,7	5935	142,3	9,8
5710	140,3	9,7	5940	142,4	9,8
5715	140,4	9,7	5945	142,4	9,8
5720	140,5	9,7	5950	142,4	9,8
5725	140,5	9,7	5955	142,5	9,8
5730	140,5	9,7	5960	142,5	9,8
5735	140,6	9,7	5965	142,5	9,8
5740	140,6	9,7	5970	142,6	9,8
5745	140,6	9,7	5975	142,6	9,8
5750	140,7	9,7	5980	142,6	9,8

Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar	Tempo Segundos	T gerador °C	Pressão bar
5985	142,7	9,8	6215	145,1	10,0
5990	142,8	9,8	6220	145,2	10,0
5995	142,8	9,8	6225	145,2	10,0
6000	142,8	9,8	6230	145,2	10,0
6005	142,9	9,9	6235	145,3	10,0
6010	143,0	9,9	6240	145,4	10,0
6015	143,0	9,9	6245	145,5	10,0
6020	143,0	9,9	6250	145,6	10,0
6025	143,1	9,9	6255	145,7	10,0
6030	143,2	9,9	6260	145,8	10,1
6035	143,2	9,9	6265	145,9	10,1
6040	143,2	9,9	6270	146,0	10,1
6045	143,2	9,9	6275	146,0	10,1
6050	143,4	9,9	6280	146,1	10,1
6055	143,4	9,9	6285	146,2	10,1
6060	143,4	9,9	6290	146,3	10,1
6065	143,5	9,9	6295	146,3	10,1
6070	143,5	9,9	6300	146,4	10,1
6075	143,6	9,9	6305	146,4	10,1
6080	143,7	9,9	6310	146,5	10,1
6085	143,8	9,9	6315	146,6	10,1
6090	143,8	9,9	6320	146,6	10,1
6095	143,9	9,9	6325	146,7	10,1
6100	143,9	9,9	6330	146,7	10,1
6105	143,9	9,9			
6110	144,0	9,9			
6115	144,1	9,9			
6120	144,2	9,9			
6125	144,2	9,9			
6130	144,2	9,9			
6135	144,2	9,9			
6140	144,2	9,9			
6145	144,3	9,9			
6150	144,4	10,0			
6155	144,5	10,0			
6160	144,6	10,0			
6165	144,6	10,0			
6170	144,6	10,0			
6175	144,7	10,0			
6180	144,7	10,0			
6185	144,8	10,0			
6190	144,9	10,0			
6195	144,9	10,0			
6200	144,9	10,0			
6205	145,0	10,0			
6210	145,1	10,0			

Tempo	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
9700	20,1	21,8	8,4	1,2	0,0
9705	20,1	21,8	8,4	1,2	0,0
9710	20,1	21,8	8,4	1,2	0,0
9715	20,1	21,7	8,4	1,2	0,1
9720	20,1	21,6	8,4	1,2	0,2
9725	20,1	21,5	8,4	1,3	0,3
9730	20,1	21,4	8,4	1,3	0,4
9735	20,1	21,2	8,4	1,3	0,5
9740	20,1	21,0	8,4	1,3	0,8
9745	20,1	20,9	8,4	1,3	0,9
9750	20,1	20,8	8,3	1,3	1,0
9755	20,1	20,8	8,3	1,3	1,1
9760	20,2	20,7	8,3	1,3	1,1
9765	20,3	20,7	8,3	1,3	1,1
9770	20,2	20,7	8,3	1,3	1,1
9775	20,2	20,7	8,3	1,3	1,1
9780	20,1	20,7	8,2	1,3	1,1
9785	20,1	20,7	8,2	1,3	1,2
9790	20,1	20,6	8,3	1,3	1,2
9795	20,1	20,5	8,3	1,3	1,3
9800	20,1	20,4	8,3	1,3	1,4
9805	20,1	20,1	8,3	1,3	1,7
9810	20,1	20,0	8,3	1,3	1,8
9815	20,0	19,9	8,3	1,3	1,9
9820	20,0	19,8	8,3	1,3	2,0
9825	20,0	19,8	8,3	1,3	2,0
9830	20,0	19,8	8,3	1,3	2,1
9835	20,0	19,8	8,3	1,3	2,1
9840	20,0	19,7	8,3	1,3	2,1
9845	20,0	19,7	8,3	1,3	2,1
9850	20,1	19,7	8,3	1,3	2,1
9855	20,1	19,7	8,3	1,3	2,1
9860	20,2	19,7	8,3	1,3	2,1
9865	20,1	19,7	8,3	1,3	2,1
9870	20,0	19,7	8,3	1,3	2,1
9875	20,1	19,7	8,3	1,3	2,1
9880	20,1	19,7	8,2	1,3	2,1
9885	20,1	19,7	8,1	1,4	2,1
9890	20,1	19,7	8,1	1,4	2,1
9895	20,2	19,7	8,1	1,4	2,2
9900	20,2	19,5	8,1	1,4	2,3
9905	20,2	19,4	8,1	1,4	2,4
9910	20,2	19,1	8,1	1,4	2,7
9915	20,2	19,0	8,1	1,4	2,8

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
9920	20,2	18,9	8,1	1,4	2,9
9925	20,1	18,9	8,1	1,4	3,0
9930	20,1	18,8	8,1	1,4	3,0
9935	20,1	18,8	8,1	1,4	3,1
9940	20,1	18,8	8,1	1,4	3,1
9945	20,1	18,7	8,1	1,4	3,1
9950	20,1	18,7	8,1	1,4	3,1
9955	20,1	18,7	8,1	1,4	3,1
9960	20,1	18,7	8,1	1,4	3,2
9965	20,0	18,7	8,1	1,4	3,1
9970	20,0	18,7	8,0	1,5	3,2
9975	20,0	18,7	8,0	1,5	3,2
9980	20,0	18,6	8,0	1,5	3,2
9985	20,0	18,5	8,0	1,5	3,3
9990	20,0	18,4	8,0	1,5	3,5
9995	20,0	18,2	8,0	1,5	3,6
10000	20,0	18,1	8,0	1,5	3,7
10005	20,0	18,0	8,0	1,5	3,8
10010	19,9	18,0	8,0	1,5	3,8
10015	19,9	18,0	8,0	1,5	3,9
10020	19,9	17,9	8,0	1,5	3,9
10025	20,0	17,9	8,0	1,5	3,9
10030	20,0	17,9	8,0	1,5	3,9
10035	20,1	17,9	8,0	1,5	3,9
10040	20,1	17,9	8,0	1,5	3,9
10045	20,2	17,9	8,0	1,5	3,9
10050	20,2	17,8	8,0	1,5	4,0
10055	20,2	17,8	8,0	1,5	4,0
10060	20,1	17,8	8,0	1,5	4,0
10065	20,0	17,9	8,0	1,5	3,9
10070	20,0	17,9	8,0	1,5	3,9
10075	20,0	17,8	8,0	1,5	3,9
10080	20,0	17,8	8,0	1,5	3,9
10085	19,9	17,8	8,0	1,5	3,9
10090	19,9	17,8	8,0	1,5	3,9
10095	19,9	17,8	8,0	1,5	4,0
10100	19,8	17,7	8,0	1,5	4,0
10105	19,8	17,7	8,0	1,5	4,1
10110	19,9	17,6	8,0	1,5	4,1
10115	19,9	17,6	8,0	1,5	4,1
10120	20,0	17,6	8,0	1,5	4,1
10125	20,0	17,6	8,0	1,5	4,1
10130	20,0	17,6	8,0	1,5	4,1
10135	20,1	17,6	8,0	1,5	4,2
10140	20,2	17,6	8,0	1,5	4,2
10145	20,3	17,6	8,0	1,5	4,2

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
10150	20,3	17,6	8,0	1,5	4,2
10155	20,2	17,6	8,0	1,5	4,2
10160	20,1	17,6	8,0	1,5	4,2
10165	20,1	17,6	7,9	1,5	4,2
10170	20,2	17,6	7,9	1,5	4,2
10175	20,2	17,6	7,9	1,5	4,2
10180	20,2	17,5	7,9	1,5	4,2
10185	20,1	17,5	7,9	1,5	4,3
10190	20,0	17,4	7,9	1,5	4,3
10195	19,9	17,3	7,9	1,5	4,4
10200	19,9	17,3	7,9	1,5	4,5
10205	19,8	17,3	7,9	1,5	4,5
10210	19,8	17,2	7,9	1,5	4,5
10215	19,8	17,2	7,9	1,5	4,5
10220	19,9	17,2	7,9	1,5	4,5
10225	20,0	17,2	7,9	1,5	4,5
10230	20,0	17,2	7,9	1,5	4,5
10235	20,1	17,2	7,9	1,5	4,5
10240	20,1	17,2	7,9	1,5	4,5
10245	20,2	17,2	7,9	1,5	4,5
10250	20,2	17,2	7,8	1,5	4,5
10255	20,2	17,2	7,8	1,5	4,5
10260	20,2	17,2	7,8	1,5	4,5
10265	20,2	17,1	7,8	1,5	4,6
10270	20,2	17,0	7,8	1,5	4,7
10275	20,2	16,9	7,8	1,5	4,8
10280	20,1	16,8	7,8	1,5	4,9
10285	19,9	16,8	7,8	1,5	4,9
10290	19,9	16,7	7,8	1,5	4,9
10295	19,9	16,7	7,8	1,5	4,9
10300	19,9	16,7	7,8	1,5	5,0
10305	19,9	16,6	7,8	1,5	5,0
10310	19,9	16,6	7,8	1,5	5,0
10315	20,0	16,6	7,8	1,5	5,0
10320	20,0	16,6	7,8	1,5	5,0
10325	20,0	16,6	7,8	1,5	5,0
10330	20,0	16,6	7,8	1,5	5,0
10335	20,1	16,6	7,8	1,5	5,0
10340	20,1	16,6	7,8	1,6	5,0
10345	20,2	16,6	7,8	1,6	5,0
10350	20,2	16,6	7,8	1,6	5,0
10355	20,2	16,6	7,8	1,6	5,0
10360	20,1	16,5	7,8	1,6	5,1
10365	20,2	16,4	7,8	1,6	5,2
10370	20,3	16,4	7,8	1,6	5,2
10375	20,4	16,3	7,8	1,6	5,3

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
10380	20,4	16,3	7,8	1,6	5,3
10385	20,2	16,3	7,8	1,5	5,3
10390	20,2	16,3	7,8	1,5	5,4
10395	20,3	16,2	7,8	1,5	5,4
10400	20,3	16,2	7,8	1,5	5,4
10405	20,3	16,2	7,8	1,5	5,4
10410	20,2	16,2	7,8	1,5	5,4
10415	20,2	16,2	7,8	1,5	5,4
10420	20,1	16,2	7,8	1,5	5,4
10425	20,0	16,2	7,8	1,5	5,4
10430	20,0	16,2	7,8	1,5	5,4
10435	19,9	16,2	7,8	1,5	5,4
10440	19,9	16,2	7,8	1,5	5,4
10445	19,9	16,2	7,8	1,5	5,4
10450	19,9	16,2	7,7	1,6	5,4
10455	19,9	16,2	7,7	1,6	5,4
10460	19,9	16,2	7,7	1,6	5,4
10465	19,9	16,2	7,7	1,6	5,4
10470	19,9	16,1	7,7	1,6	5,5
10475	19,9	16,1	7,7	1,6	5,5
10480	19,9	16,0	7,7	1,6	5,6
10485	19,9	15,9	7,7	1,6	5,6
10490	19,9	15,9	7,7	1,6	5,6
10495	19,9	15,9	7,7	1,6	5,7
10500	19,9	15,8	7,7	1,6	5,7
10505	19,9	15,8	7,7	1,6	5,8
10510	19,9	15,7	7,7	1,6	5,8
10515	19,9	15,6	7,7	1,6	6,0
10520	19,9	15,6	7,7	1,6	6,0
10525	20,0	15,5	7,7	1,6	6,1
10530	20,1	15,5	7,7	1,6	6,1
10535	20,2	15,5	7,7	1,6	6,1
10540	20,2	15,4	7,7	1,6	6,1
10545	20,3	15,4	7,7	1,6	6,2
10550	20,4	15,4	7,7	1,6	6,2
10555	20,4	15,4	7,7	1,6	6,2
10560	20,4	15,4	7,7	1,6	6,2
10565	20,4	15,4	7,7	1,6	6,2
10570	20,2	15,4	7,7	1,6	6,2
10575	20,2	15,4	7,7	1,6	6,2
10580	20,2	15,4	7,6	1,7	6,2
10585	20,2	15,4	7,6	1,7	6,2
10590	20,1	15,4	7,6	1,7	6,2
10595	20,1	15,3	7,6	1,7	6,3
10600	20,1	15,2	7,6	1,7	6,4
10605	20,1	15,0	7,6	1,7	6,6

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
10610	20,2	14,9	7,6	1,7	6,7
10615	20,2	14,9	7,6	1,7	6,7
10620	19,9	14,8	7,6	1,7	6,8
10625	19,8	14,8	7,6	1,7	6,8
10630	19,9	14,7	7,6	1,7	6,8
10635	20,0	14,7	7,6	1,7	6,8
10640	20,0	14,7	7,6	1,6	6,8
10645	20,0	14,7	7,6	1,6	6,8
10650	20,0	14,7	7,6	1,6	6,8
10655	20,0	14,7	7,6	1,6	6,8
10660	19,8	14,7	7,6	1,6	6,8
10665	19,8	14,7	7,6	1,7	6,8
10670	19,9	14,7	7,6	1,7	6,8
10675	20,0	14,7	7,6	1,7	6,8
10680	19,9	14,6	7,6	1,7	6,8
10685	19,9	14,6	7,6	1,7	6,9
10690	20,1	14,4	7,6	1,7	7,0
10695	20,2	14,3	7,6	1,7	7,2
10700	20,3	14,2	7,6	1,7	7,3
10705	20,3	14,1	7,6	1,7	7,4
10710	20,3	14,1	7,6	1,7	7,4
10715	20,3	14,0	7,6	1,7	7,5
10720	20,4	14,0	7,6	1,7	7,5
10725	20,3	14,0	7,6	1,7	7,5
10730	20,2	14,0	7,6	1,7	7,5
10735	20,2	14,0	7,6	1,7	7,5
10740	20,1	14,0	7,6	1,7	7,5
10745	20,0	14,0	7,6	1,7	7,5
10750	20,0	14,0	7,6	1,7	7,5
10755	20,0	14,0	7,5	1,7	7,5
10760	20,0	14,0	7,5	1,8	7,5
10765	20,0	14,0	7,5	1,8	7,5
10770	20,0	13,9	7,5	1,8	7,6
10775	20,1	13,8	7,5	1,8	7,7
10780	20,1	13,6	7,5	1,8	7,9
10785	20,1	13,5	7,5	1,8	8,0
10790	20,1	13,4	7,5	1,8	8,0
10795	20,1	13,4	7,5	1,8	8,1
10800	20,2	13,4	7,5	1,8	8,1
10805	20,2	13,3	7,5	1,8	8,2
10810	20,3	13,3	7,5	1,8	8,2
10815	20,3	13,3	7,5	1,8	8,2
10820	20,2	13,3	7,5	1,8	8,2
10825	20,2	13,3	7,5	1,8	8,2
10830	20,3	13,3	7,5	1,8	8,2
10835	20,3	13,3	7,5	1,8	8,2

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
10840	20,2	13,3	7,5	1,8	8,2
10845	20,2	13,3	7,5	1,8	8,2
10850	20,1	13,3	7,5	1,8	8,2
10855	20,0	13,3	7,5	1,9	8,2
10860	20,0	13,3	7,4	1,9	8,2
10865	20,0	13,3	7,4	1,9	8,2
10870	20,0	13,2	7,4	1,9	8,3
10875	20,1	13,1	7,4	1,9	8,4
10880	20,1	12,9	7,4	1,9	8,6
10885	20,1	12,8	7,4	1,9	8,7
10890	20,2	12,7	7,4	1,9	8,8
10895	20,2	12,6	7,4	1,9	8,8
10900	20,3	12,6	7,4	1,9	8,9
10905	20,4	12,6	7,4	1,9	8,9
10910	20,3	12,5	7,4	1,9	9,0
10915	20,2	12,5	7,4	1,9	9,0
10920	20,1	12,5	7,4	1,9	9,0
10925	20,1	12,5	7,4	1,9	9,0
10930	20,1	12,5	7,4	1,9	9,0
10935	20,0	12,5	7,4	1,9	8,9
10940	20,0	12,5	7,4	1,9	9,0
10945	20,0	12,5	7,4	1,9	8,9
10950	20,1	12,5	7,4	1,9	8,9
10955	20,1	12,5	7,4	1,9	8,9
10960	20,1	12,6	7,3	2,0	8,9
10965	20,2	12,6	7,3	2,0	8,9
10970	20,2	12,5	7,3	2,0	8,9
10975	20,0	12,4	7,3	2,0	9,0
10980	20,0	12,2	7,3	2,0	9,3
10985	20,0	12,0	7,3	2,0	9,4
10990	19,9	11,9	7,3	2,0	9,5
10995	19,9	11,9	7,3	2,0	9,6
11000	19,9	11,8	7,3	2,0	9,6
11005	20,1	11,8	7,3	2,0	9,7
11010	20,1	11,7	7,3	1,9	9,7
11015	20,1	11,7	7,3	1,9	9,7
11020	20,0	11,7	7,3	1,9	9,7
11025	20,1	11,7	7,3	1,9	9,8
11030	20,2	11,7	7,3	1,9	9,8
11035	20,2	11,7	7,3	1,9	9,8
11040	20,2	11,7	7,3	1,9	9,8
11045	20,3	11,7	7,3	1,9	9,8
11050	20,3	11,7	7,3	1,9	9,7
11055	20,4	11,7	7,3	1,9	9,7
11060	20,3	11,7	7,3	2,0	9,7
11065	20,1	11,8	7,3	2,0	9,7

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
11070	20,1	11,8	7,3	2,0	9,7
11075	20,2	11,7	7,3	2,0	9,7
11080	20,2	11,7	7,2	2,1	9,8
11085	20,3	11,6	7,1	2,1	9,9
11090	20,2	11,5	7,1	2,1	10,0
11095	20,1	11,4	7,1	2,1	10,1
11100	20,0	11,2	7,1	2,1	10,2
11105	19,9	11,1	7,1	2,1	10,3
11110	19,9	11,0	7,1	2,1	10,5
11115	19,9	10,9	7,0	2,1	10,5
11120	19,9	10,8	7,0	2,0	10,7
11125	19,9	10,8	7,0	2,0	10,7
11130	19,9	10,7	7,0	2,0	10,7
11135	19,9	10,7	7,0	2,0	10,8
11140	19,9	10,7	7,0	2,0	10,8
11145	19,9	10,7	7,0	2,0	10,8
11150	19,9	10,7	7,0	2,0	10,8
11155	19,9	10,7	7,0	2,0	10,8
11160	19,9	10,7	6,9	2,1	10,8
11165	20,0	10,7	6,9	2,1	10,7
11170	19,9	10,7	6,9	2,1	10,7
11175	19,9	10,7	6,8	2,1	10,7
11180	19,9	10,7	6,7	2,1	10,8
11185	19,9	10,7	6,4	2,2	10,8
11190	20,0	10,6	6,4	2,2	10,9
11195	20,0	10,5	6,4	2,2	11,0
11200	20,2	10,4	6,4	2,2	11,0
11205	20,2	10,3	6,4	2,2	11,1
11210	20,2	10,2	6,4	2,2	11,3
11215	20,1	10,1	6,4	2,2	11,3
11220	20,1	10,1	6,4	2,2	11,4
11225	20,1	10,0	6,4	2,2	11,5
11230	20,0	10,0	6,4	2,2	11,5
11235	19,9	9,9	6,4	2,2	11,5
11240	19,9	9,9	6,4	2,2	11,5
11245	19,8	9,9	6,4	2,2	11,5
11250	19,8	9,9	6,4	2,1	11,5
11255	19,8	9,9	6,4	2,1	11,5
11260	19,8	9,9	6,4	2,1	11,5
11265	19,8	9,9	6,4	2,1	11,5
11270	19,8	9,9	6,4	2,1	11,5
11275	19,8	9,9	6,2	2,1	11,5
11280	19,8	9,9	6,0	2,2	11,4
11285	19,8	10,0	6,1	2,2	11,4
11290	19,8	10,0	5,6	2,3	11,4
11295	19,8	10,0	4,9	2,3	11,4

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
11300	19,8	9,9	4,9	2,3	11,5
11305	19,8	9,9	5,0	2,3	11,5
11310	19,8	9,9	5,0	2,3	11,5
11315	19,9	9,9	5,0	2,3	11,5
11320	20,0	9,9	5,0	2,2	11,5
11325	20,0	9,9	5,0	2,2	11,5
11330	20,0	9,8	5,0	2,2	11,6
11335	20,0	9,8	5,0	2,2	11,6
11340	20,1	9,8	5,0	2,2	11,6
11345	20,1	9,8	5,0	2,2	11,6
11350	20,0	9,8	5,0	2,2	11,6
11355	20,0	9,8	5,0	2,2	11,6
11360	20,0	9,8	4,5	2,2	11,6
11365	20,0	9,8	3,7	2,2	11,6
11370	20,0	9,9	3,6	2,2	11,6
11375	20,0	9,9	3,6	2,2	11,6
11380	20,1	9,9	3,6	2,2	11,6
11385	20,1	9,9	2,1	2,3	11,5
11390	20,0	9,9	1,6	2,2	11,5
11395	20,0	9,9	1,7	2,2	11,5
11400	20,1	9,9	1,7	2,2	11,5
11405	20,1	9,9	1,7	2,2	11,5
11410	20,2	10,0	1,7	2,2	11,4
11415	20,2	10,0	1,8	2,2	11,5
11420	20,2	10,0	1,8	2,2	11,4
11425	20,2	10,0	1,8	2,2	11,4
11430	20,1	10,0	1,8	2,2	11,4
11435	20,1	10,0	1,8	2,2	11,4
11440	20,1	10,0	1,8	2,2	11,4
11445	20,0	10,1	1,8	2,2	11,3
11450	19,9	10,1	1,8	2,2	11,3
11455	19,8	10,1	1,8	2,2	11,3
11460	19,8	10,1	1,8	2,2	11,3
11465	19,8	10,1	1,8	2,2	11,2
11470	19,9	10,1	1,8	2,2	11,2
11475	19,9	10,2	1,8	2,2	11,2
11480	20,0	10,2	1,8	2,2	11,1
11485	20,0	10,2	1,8	2,2	11,1
11490	20,0	10,2	1,8	2,2	11,1
11495	20,0	10,2	1,8	2,2	11,1
11500	19,9	10,2	1,8	2,2	11,0
11505	19,9	10,2	1,8	2,2	11,0
11510	19,9	10,3	1,8	2,2	11,0
11515	19,9	10,3	1,8	2,2	11,0
11520	19,9	10,3	1,8	2,1	11,0
11525	19,9	10,3	1,8	2,1	11,0

Tempo s	T amb °C	T água °C	Pres cond bar	Pres evap bar	delta T °C
11530	20,0	10,3	1,8	2,1	10,9
11535	20,0	10,3	1,8	2,1	10,9
11540	20,0	10,3	1,8	2,1	10,9
11545	19,9	10,4	1,8	2,1	10,9
11550	20,0	10,4	1,8	2,1	10,9
11555	20,0	10,4	1,8	2,1	10,8
11560	20,1	10,4	1,8	2,1	10,8
11565	20,1	10,4	1,8	2,1	10,8
11570	20,1	10,4	1,8	2,1	10,8
11575	20,2	10,4	1,8	2,1	10,8
11580	20,2	10,5	1,8	2,1	10,7
11585	20,2	10,5	1,8	2,1	10,7
11590	20,2	10,5	1,8	2,1	10,7
11595	20,1	10,5	1,8	2,1	10,7
11600	20,0	10,5	1,8	2,1	10,7
11605	20,1	10,5	1,8	2,1	10,7
11610	20,2	10,5	1,8	2,1	10,7
11615	20,2	10,6	1,8	2,1	10,6
11620	20,2	10,6	1,8	2,1	10,6
11625	20,5	10,6	1,8	2,1	10,6
11630	20,5	10,6	1,8	2,1	10,6
11635	20,4	10,6	1,8	2,1	10,6
11640	20,4	10,7	1,8	2,1	10,6
11645	20,3	10,7	1,8	2,1	10,6
11650	20,3	10,7	1,8	2,1	10,6

Apêndice A.1 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) Sist. Britânico.

Temperatura [°F] em função da concentração e da pressão [psi]										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
27*	80,00	75,24	70,48	66,25	62,08	58,00	54,00	50,00	46,15	42,31
25*	97,62	92,86	88,33	84,17	80,00	76,30	72,59	68,89	65,19	61,48
20*	125,91	121,36	117,08	112,92	108,80	104,80	100,80	96,67	92,50	88,46
15*	143,33	138,64	134,09	129,57	125,77	120,87	116,92	113,08	109,23	105,38
10*	156,19	151,43	146,82	142,27	137,92	133,75	129,60	125,60	121,60	117,60
5*	166,50	161,50	156,82	152,27	147,92	143,75	139,58	135,42	131,25	127,31
0	176,19	171,43	166,67	161,90	157,14	152,38	148,08	144,23	140,38	136,40
2	182,50	177,62	172,86	168,18	163,64	159,13	154,78	150,43	146,40	142,40
4	188,50	183,50	178,70	174,35	170,00	165,65	161,30	156,96	152,61	148,40
7	196,84	191,58	186,82	182,27	177,73	173,18	168,75	164,58	160,42	156,25
10	204,00	199,50	194,29	189,52	184,76	180,00	175,65	171,30	167,08	162,92
15	214,50	209,50	204,50	199,55	195,00	190,45	185,91	181,36	177,08	172,92
20	223,68	218,50	213,50	208,57	203,81	199,13	194,78	190,43	186,25	182,08
25	231,67	226,50	221,50	216,67	211,90	207,27	202,73	198,26	193,91	189,58
30	239,50	234,50	229,50	224,50	219,52	214,76	210,00	205,65	201,30	196,96
40	251,05	246,00	241,00	236,19	231,43	226,82	222,27	217,73	213,18	208,70
50	262,63	257,50	252,50	247,50	242,50	237,73	233,18	228,64	224,09	219,57
60	272,63	267,50	262,50	257,50	252,50	247,62	242,86	238,00	233,00	228,40
70	281,58	276,32	271,05	266,19	261,43	256,67	251,90	247,27	242,73	238,26
80	289,50	284,50	279,50	274,50	269,50	264,50	259,55	255,00	250,45	245,91
90	297,37	292,11	287,00	282,00	277,00	272,00	267,14	262,38	257,73	253,18
100	304,21	299,00	294,00	289,00	284,00	279,05	274,29	269,52	264,76	260,00
120	317,22	311,67	306,50	301,50	296,50	291,50	286,50	281,50	276,82	272,27
140	327,89	322,63	317,50	312,50	307,50	302,50	297,62	292,86	288,18	283,64
160	337,89	332,63	327,50	322,50	317,50	312,50	307,50	302,50	297,73	293,18
180	346,84	341,58	336,50	331,50	326,50	321,50	316,67	311,90	307,00	301,82
200	355,00	350,00	344,74	339,50	334,50	329,52	324,76	320,00	315,24	310,48
220	362,63	357,50	352,50	347,63	342,86	338,00	333,00	328,00	323,00	318,10
240	370,00	365,00	360,00	355,00	350,00	345,24	340,48	335,50	330,50	325,71
260	377,38	372,50	367,37	362,11	357,00	352,00	347,14	342,38	337,50	332,50

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.1 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) Sist. Britânico.

Temperatura [°F] em função da concentração e da pressão [psi] Continuação										
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
27*	38,67	35,33	32,00	28,71	25,48	22,26				
25*	57,78	54,07	50,37	47,00	43,67	40,33				
20*	84,62	80,77	77,04	73,33	69,66	66,21	62,76	59,33	56,00	52,67
15*	101,54	97,69	93,85	90,00	86,43	82,86	79,33	76,00	72,67	69,35
10*	113,60	109,63	105,93	102,22	98,57	95,00	91,43	87,93	84,48	81,03
5*	123,46	119,62	115,77	111,92	108,21	104,64	101,07	97,59	94,14	90,69
0	132,40	128,46	124,62	120,77	117,04	113,33	109,67	106,33	103,00	99,66
2	138,46	134,62	130,77	126,92	123,08	119,29	115,71	112,40	108,71	105,48
4	144,40	140,40	136,54	132,69	128,89	125,19	121,48	117,86	114,29	110,71
7	152,08	148,00	144,00	140,00	136,43	132,86	129,26	125,56	121,85	118,28
10	158,80	154,80	150,80	146,80	142,80	138,93	135,36	131,79	128,21	124,64
15	168,75	164,58	160,42	156,54	152,69	148,89	145,19	141,48	137,86	134,29
20	177,83	173,48	169,23	165,38	161,54	157,78	154,07	150,37	146,67	142,96
25	185,42	181,25	177,20	173,20	169,26	165,56	161,85	158,08	154,23	150,38
30	192,61	188,33	184,17	180,00	176,00	172,00	168,15	164,44	160,74	157,04
40	204,35	200,00	196,00	192,00	188,08	184,23	180,38	176,54	172,69	168,89
50	215,22	210,87	206,67	202,50	200,27	200,93	190,77	186,92	183,08	179,26
60	224,40	220,40	216,25	212,08	210,34	211,01	200,00	196,00	192,00	188,08
70	233,91	229,58	225,42	221,25	220,47	221,14	209,17	205,00	200,83	196,80
80	241,36	237,08	232,92	228,75	224,58	220,42	216,40	212,40	208,40	204,40
90	248,64	244,09	239,60	235,60	231,60	230,40	223,33	219,20	215,20	211,20
100	255,45	250,91	246,52	242,17	238,00	234,00	230,00	226,00	222,00	217,92
120	267,73	263,18	258,75	254,58	250,42	246,25	242,08	237,92	233,75	229,58
140	279,09	274,55	270,00	265,65	261,30	257,08	252,92	248,70	244,35	240,00
160	288,64	284,09	279,57	275,22	270,87	266,52	262,17	257,92	253,75	249,58
180	297,27	292,73	288,26	283,21	279,55	275,00	270,45	266,40	262,40	257,92
200	305,71	300,95	296,36	291,82	287,39	283,04	278,70	274,35	270,00	265,83
220	313,33	308,64	304,09	299,57	295,22	290,87	286,52	282,17	277,92	273,75
240	320,95	316,19	311,43	306,96	302,61	298,18	293,64	289,13	284,78	280,43
260	327,62	322,86	318,18	313,64	309,13	304,78	300,43	296,09	291,74	287,39

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.1 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) Sist. Britânico.

Temperatura [°F] em função da concentração e da pressão [psi] Continuação										
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
27*										
25*										
20*	49,38	46,25	43,13	40,00	36,88	33,75	30,63	27,71	24,86	22,00
15*	66,13	62,90	59,68	56,45	53,23	50,00	46,88	43,75	40,63	37,33
10*	77,67	74,33	71,00	67,74	64,52	61,29	58,13	55,00	51,88	48,82
5*	87,33	84,00	80,67	77,50	74,38	71,25	68,06	64,84	61,61	58,44
0	96,21	92,76	89,35	86,13	82,90	79,68	76,45	73,23	70,00	66,88
2	102,26	98,97	95,52	92,07	88,67	85,33	82,00	78,71	75,48	72,26
4	107,33	104,00	100,67	97,33	94,00	90,67	87,33	84,00	80,67	77,50
7	114,83	111,38	107,93	104,48	101,03	97,67	94,33	91,00	87,74	84,52
10	121,07	117,59	114,14	110,69	107,42	104,19	100,97	97,74	94,52	91,29
15	130,71	127,14	123,57	120,00	116,17	113,33	110,00	106,77	103,55	100,32
20	139,29	135,71	132,14	128,62	125,17	121,72	118,39	115,16	111,94	108,71
25	146,79	143,21	139,64	136,07	132,50	128,97	125,52	122,07	118,67	115,33
30	153,30	149,64	146,07	142,50	138,97	135,52	132,07	128,71	125,48	122,26
40	165,19	161,48	157,86	154,29	150,71	147,24	143,79	140,34	136,90	133,45
50	175,56	171,85	168,15	164,44	160,74	157,14	153,57	150,00	146,67	143,33
60	184,23	180,38	176,79	173,21	169,64	166,07	162,50	158,93	155,36	151,79
70	192,80	188,89	185,19	181,48	177,69	173,85	170,00	166,43	162,86	159,29
80	200,40	196,54	192,69	188,85	185,00	181,15	177,50	173,93	170,36	166,67
90	207,31	203,46	199,62	195,77	191,92	188,15	184,44	180,74	177,24	173,79
100	213,50	209,62	205,77	201,92	198,15	194,44	190,74	187,04	183,33	179,64
120	225,42	221,25	217,31	213,46	209,63	205,93	202,22	198,52	194,81	191,11
140	236,00	232,00	228,00	224,00	220,00	216,15	212,31	208,62	205,17	201,72
160	245,42	241,25	237,31	233,46	229,58	225,42	221,25	217,20	213,20	209,31
180	253,75	249,40	245,60	241,60	237,50	233,60	229,60	225,60	221,60	217,78
200	261,67	257,50	253,33	249,23	245,38	241,54	237,50	233,33	229,23	225,38
220	269,58	265,42	261,25	257,08	252,92	248,80	244,80	240,90	236,92	233,08
240	276,09	271,74	267,60	263,60	259,58	255,42	251,25	247,31	243,46	239,62
260	283,04	278,75	274,58	270,42	266,25	262,08	258,00	254,00	250,00	246,30

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.1 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) Sist. Britânico.

Temperatura [°F] em função da concentração e da pressão [psi] Continuação										
	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
27*										
25*										
20*	19,14	13,43	7,89	2,63	-2,38	-7,14	-12,05	-17,18	-22,00	-26,44
15*	34,00	28,38	22,97	17,57	12,16	7,00	2,00	-2,93	-7,80	-12,29
10*	45,88	40,00	34,12	28,38	22,97	17,63	12,37	7,38	2,62	-1,84
5*	55,31	49,12	43,24	37,43	31,71	26,32	21,05	16,10	11,22	6,81
0	63,75	57,58	51,52	45,59	39,72	34,17	28,72	23,59	18,57	13,81
2	69,09	63,03	56,97	50,91	45,28	39,73	34,32	28,97	23,85	18,94
4	74,38	68,13	61,88	55,88	50,00	44,44	38,92	33,51	28,37	23,72
7	81,29	74,84	68,39	61,94	56,41	51,28	45,83	40,28	35,48	30,71
10	87,93	81,03	74,69	68,53	62,65	56,94	51,39	46,05	40,79	36,14
15	97,00	90,33	84,06	77,81	71,56	65,31	59,27	54,39	49,52	44,76
20	105,48	98,93	91,79	85,45	79,41	73,53	67,71	62,00	56,83	51,95
25	112,00	105,48	99,03	92,58	86,25	80,00	74,44	68,97	63,85	58,89
30	119,03	112,58	106,13	99,67	93,00	86,67	80,61	75,14	69,76	65,00
40	130,00	123,10	116,21	109,39	103,33	97,27	91,21	85,79	80,53	75,81
50	140,00	133,10	126,21	119,35	112,90	106,76	100,88	95,41	90,00	85,00
60	148,28	141,38	134,48	127,81	121,56	115,45	109,41	103,53	97,95	92,82
70	155,71	148,62	141,72	135,16	128,79	122,73	116,86	111,14	105,68	100,27
80	162,96	155,86	149,00	142,33	135,94	129,70	123,64	117,78	112,22	107,00
90	170,34	162,96	155,71	148,71	142,26	136,06	130,00	123,94	118,16	112,89
100	176,07	168,89	161,48	154,67	148,06	141,61	135,45	129,44	123,89	118,50
120	187,50	180,36	173,21	166,33	159,67	153,00	146,45	140,00	134,44	129,00
140	198,08	190,38	182,96	175,86	169,00	162,33	155,94	149,71	143,82	138,21
160	205,86	198,89	191,48	184,48	177,67	171,00	164,52	158,24	152,35	146,76
180	214,07	206,79	199,63	192,22	185,33	178,71	172,26	166,06	160,00	154,59
200	221,54	214,29	207,14	200,00	192,86	185,86	179,09	173,03	167,22	161,67
220	229,23	221,54	214,07	206,90	200,00	193,10	186,33	179,70	173,64	167,95
240	235,77	228,08	220,38	213,45	206,43	199,33	192,67	186,00	179,47	174,21
260	242,59	235,00	227,20	219,33	212,67	206,00	199,35	192,90	186,56	180,31

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.1 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) Sist. Britânico.

Temperatura [°F] em função da concentração e da pressão [psi] Continuação										
	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74
27*										
25*										
20*	-30,70	-34,21	-37,72	-40,71	-42,73	-44,75	-46,77	-48,79		
15*	-16,46	-20,46	-23,54	-26,62	-29,69	-31,71	-33,62	-35,52	-37,43	-39,33
10*	-5,92	-10,00	-13,08	-16,15	-19,23	-21,50	-23,43	-25,45	-27,47	-29,49
5*	2,55	-1,36	-4,75	-8,14	-11,01	-13,26	-15,51	-17,75	-20,00	-21,35
0	9,25	5,47	1,70	-1,43	-4,03	-6,62	-8,99	-10,98	-12,62	-14,26
2	14,68	10,43	7,31	4,33	1,34	-1,15	-3,23	-5,31	-7,40	-9,48
4	19,27	15,64	12,00	8,82	6,18	3,55	0,92	-1,11	-2,82	-4,53
7	26,46	22,29	18,66	15,67	12,69	9,78	7,56	5,33	3,11	0,89
10	31,59	27,80	24,41	21,02	18,21	15,64	13,08	10,51	8,61	6,87
15	40,00	36,30	32,59	29,17	26,39	23,61	20,83	18,63	16,67	14,71
20	47,60	43,60	39,70	36,67	33,64	30,61	28,20	25,96	23,71	21,46
25	54,44	50,00	46,67	43,33	40,00	37,44	34,87	32,31	29,83	28,09
30	60,24	56,35	52,50	48,97	46,03	43,09	40,15	37,91	35,71	33,52
40	71,16	67,12	63,27	59,55	56,52	53,48	50,45	48,09	45,84	43,60
50	80,00	76,00	72,00	68,39	65,16	61,94	59,05	56,67	54,29	51,90
60	88,00	83,56	79,34	76,07	72,79	69,61	66,97	64,34	61,71	59,33
70	95,58	90,93	87,09	83,45	79,86	77,00	74,14	71,29	68,85	66,77
80	102,00	97,60	93,60	89,68	86,51	83,33	80,16	77,74	75,36	72,98
90	107,95	103,41	99,15	95,76	92,37	89,17	86,39	83,61	80,83	78,53
100	113,50	108,87	105,09	101,32	97,94	94,76	91,59	88,80	86,39	83,98
120	124,00	119,22	115,29	111,37	107,94	104,76	101,59	98,75	96,25	93,75
140	133,08	128,40	124,40	120,40	117,14	113,97	110,79	108,00	105,33	102,67
160	141,35	136,81	132,55	128,64	125,25	121,86	118,73	115,92	113,10	110,28
180	149,30	144,65	140,00	136,36	132,73	129,25	126,27	123,28	120,30	117,88
200	156,59	151,71	147,45	143,53	139,67	136,33	133,00	129,73	127,03	124,32
220	162,82	158,16	154,08	150,00	146,49	142,98	139,57	136,67	133,77	130,87
240	169,07	164,42	159,81	156,04	152,26	148,73	145,56	142,38	139,36	136,79
260	175,37	170,49	166,17	161,91	158,10	154,66	151,21	148,03	145,00	141,97

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.1 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) Sist. Britânico.

Temperatura [°F] em função da concentração e da pressão [psi] Continuação								
	76	78	80	82	84	86	88	90
27*								
25*								
20*								
15*	-39,65	-39,12	-38,58	-38,04	-37,51	-36,97	-36,43	-35,90
10*	-30,88	-32,05	-33,22	-34,39	-35,56	-36,73	-37,89	-39,06
5*	-22,70	-24,05	-25,41	-26,76	-28,11	-29,46		
0	-15,90	-17,54	-19,18					
2	-10,93	-12,16	-13,40	-14,63	-15,86	-17,10	-18,33	-19,57
4	-6,24	-7,95	-9,66	-9,80	-9,55	-9,30	-9,05	-8,81
7	-0,79	-2,11	-3,42					
10	5,13	3,39	1,65	0,01	0,26	0,50	0,74	0,99
15	12,75	10,78	9,33	8,22	7,11	6,00	4,89	3,78
20	19,51	18,10	16,69	15,28	13,87	12,46	11,06	10,06
25	26,35	24,61	22,87	21,13	20,08	20,32	20,56	20,80
30	31,32	29,46	28,10	26,73	25,37	24,01	22,65	21,29
40	41,35	39,43	38,01	36,60	35,18	33,76	32,34	30,92
50	49,67	48,05	46,42	44,80	43,17	41,54	40,01	40,24
60	57,40	55,48	53,56	51,63	50,04	50,27	50,51	50,75
70	64,69	62,60	60,52	58,87	57,37	55,86	54,36	52,86
80	70,60	68,67	66,90	65,13	63,36	61,59	60,02	60,25
90	76,42	74,32	72,21	70,11	68,68	67,29	65,90	64,51
100	81,57	79,36	77,52	75,69	73,85	72,02	70,18	70,20
120	91,25	89,09	87,27	85,45	83,64	81,82	80,00	80,23
140	100,00	98,02	96,04	101,30	101,74	102,17	90,34	90,70
160	108,13	106,04	103,96	101,88	99,84	98,27	96,69	95,12
180	115,53	113,18	110,82	108,91	107,23	105,55	103,87	102,18
200	121,62	119,21	117,23	115,25	113,27	111,29	110,08	110,31
220	128,39	126,09	123,79	121,49	119,41	117,73	116,05	114,37
240	134,23	131,67	129,32	127,38	125,44	123,50	121,55	120,04
260	139,24	137,07	134,89	132,72	130,54	128,70	126,96	125,22

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.2 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Entalpia) Sist. Britânico.

Entalpia [Btu/lb] em função da Temperatura [°F] concentração e da pressão [psi]

	360	350	340	330	320	310	300	290	280	270
0										
2										
4										
7										
10										
15										
20										
25										
30										237
40									246	232
50								256	242	228
60							267	252	238	224
70						278	264	249	235	220
80					288	274	261	246	231	217
90				300	286	271	257	243	228	214
100				297	283	269	255	240	225	211
120		321	307	293	278	264	250	235	221	207
140	331	317	303	289	274	260	246	231	217	203
160	328	314	299	285	270	256	242	228	213	199
180	325	311	296	282	267	253	239	225	211	197
200	322	308	293	279	264	250	236	222	209	195
220	319	305	290	276	261	248	234	220	207	194
240	317	302	287	273	259	245	232	218	206	193
260	315	300	285	271	257	243	230	217	205	192

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.2 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Entalpia) Sist. Britânico.

Entalpia [Btu/lb] em função da Temperatura [°F] concentração e da pressão [psi]

	260	250	240	230	220	210	200	190	180	170
0						177	164	150	135	120
2						175	161	147	132	117
4					187	173	159	144	129	113
7				197	184	168	155	140	124	110
10				194	181	166	151	137	121	106
15			205	199	176	161	147	132	116	101
20		215	201	186	172	157	143	127	112	97
25	226	212	198	183	169	154	139	123	108	93
30	223	209	194	180	165	150	135	120	105	90
40	218	204	190	175	160	145	130	114	100	85
50	213	199	185	170	155	140	125	110	95	81
60	209	195	181	166	151	136	121	107	92	78
70	206	191	177	162	147	132	118	104	89	75
80	203	188	174	159	144	130	116	102	88	74
90	200	185	171	156	141	128	114	100	86	73
100	197	182	168	153	139	126	112	98	85	73
120	193	178	164	150	137	123	109	97	85	73
140	188	174	161	147	134	121	108	96	85	75
160	186	172	159	146	133	121	108	97	86	77
180	184	171	157	144	132	120	108	98	88	79
200	182	169	156	143	132	121	109	99	90	83
220	181	168	155	143	132	121	110	101	93	86
240	180	167	155	143	133	122	112	104	96	90
260	179	167	155	144	134	123	114	107	101	96

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.2 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Entalpia) Sist. Britânico.

Entalpia [Btu/lb] em função da Temperatura [°F] concentração e da pressão [psi]

	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70
0	104	90	73	58	42	27	10	-5	-21	-34
2	101	86	70	54	39	23	7	-8	-23	-36
4	98	83	67	51	36	20	4	-11	-24	-37
7	94	79	63	47	32	17	1	-13	-25	-37
10	90	75	60	44	29	14	-1	-15	-26	-37
15	86	70	55	40	25	9	-4	-16	-26	-36
20	81	66	51	36	21	7	-5	-16	-25	-34
25	78	63	48	33	19	6	-5	-15	-24	-31
30	75	60	45	31	17	6	-4	-14	-22	-28
40	70	55	41	28	17	6	-3	-11	-17	-21
50	66	52	39	27	17	8	0	-6	-11	-12
60	63	51	38	28	19	11	4	-1	-5	-1
70	62	50	39	29	21	14	8	5	6	14
80	61	50	40	31	23	17	12	12	17	32
90	61	51	41	32	26	21	18	21	30	51
100	61	51	42	35	29	25	25	30	46	73
120	63	54	47	40	36	36	42	56	84	
140	65	58	51	47	46	52	64	88		
160	69	62	57	55	59	70	92	129		
180	72	67	65	66	75	92	124			
200	77	74	73	79	92	116				
220	82	81	84	95	114	147				
240	88	89	96	111	137					
260	95	99	110	130	162					

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.2 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Entalpia) Sist. Britânico.

Entalpia [Btu/lb] em função da Temperatura [°F] concentração e da pressão [psi]

	60	50	40	30	20	10	0	-10	-20
0	-47	-58	-68	-76	-82	-86	-87	-78	-50
2	-48	-58	-67	-73	-79	-82	-78	-61	-16
4	-48	-57	-65	-71	-76	-76	-68	-42	
7	-47	-56	-62	-67	-70	-65	-50	-7	
10	-46	-53	-60	-63	-62	-53	-26		
15	-44	-49	-54	-55	-47	-26	-30		
20	-40	-45	-47	-42	-27	13			
25	-35	-40	-38	-27	1				
30	-32	-33	-27	-10	33				
40	-22	-16	1	41					
50	-8	7	39						
60	11	35							
70	34	73							
80	61								
90	94								
100									
120									
140									
160									
180									
200									
220									
240									
260									

Fonte: Woolrich (1965)

Apêndice A.3 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) S.I.

Temperatura [°C] em função da concentração e da pressão [kPa]

	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%
0	80,1	77,5	74,8	72,2	69,5	66,9	64,5	62,4	60,2
14	83,6	80,9	78,3	75,7	73,1	70,6	68,2	65,8	63,6
28	86,9	84,2	81,5	79,1	76,7	74,3	71,8	69,4	67,0
48	91,6	88,7	86,0	83,5	81,0	78,4	76,0	73,7	71,3
69	95,6	93,1	90,2	87,5	84,9	82,2	79,8	77,4	75,0
103	101,4	98,6	95,8	93,1	90,6	88,0	85,5	83,0	80,6
138	106,5	103,6	100,8	98,1	95,5	92,9	90,4	88,0	85,7
172	110,9	108,1	105,3	102,6	99,9	97,4	94,9	92,4	90,0
207	115,3	112,5	109,7	106,9	104,2	101,5	98,9	96,5	94,1
276	121,7	118,9	116,1	113,4	110,8	108,2	105,7	103,2	100,7
345	128,1	125,3	122,5	119,7	116,9	114,3	111,8	109,2	106,7
414	133,7	130,8	128,1	125,3	122,5	119,8	117,1	114,4	111,7
483	138,7	135,7	132,8	130,1	127,5	124,8	122,2	119,6	117,1
552	143,1	140,3	137,5	134,7	131,9	129,2	126,4	123,9	121,4
621	147,4	144,5	141,7	138,9	136,1	133,3	130,6	128,0	125,4
689	151,2	148,3	145,6	142,8	140,0	137,3	134,6	132,0	129,3
827	158,5	155,4	152,5	149,7	146,9	144,2	141,4	138,6	136,0
965	164,4	161,5	158,6	155,8	153,1	150,3	147,6	144,9	142,3
1103	169,9	167,0	164,2	161,4	158,6	155,8	153,1	150,3	147,6
1241	174,9	172,0	169,2	166,4	163,6	160,8	158,2	155,5	152,8
1379	179,4	176,7	173,7	170,8	168,1	165,3	162,6	160,0	157,4
1517	183,7	180,8	178,1	175,4	172,7	170,0	167,2	164,4	161,7
1655	187,8	185,0	182,2	179,4	176,7	174,0	171,4	168,6	165,8
1793	191,9	189,2	186,3	183,4	180,6	177,8	175,1	172,4	169,7

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.1.

Apêndice A.3 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) S.I.

Temperatura [°C] em função da concentração e da pressão [kPa] - Continuação

	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%	22%	23%
0	58,0	55,8	53,6	51,5	49,3	47,2	45,2	43,2	41,3
14	61,3	59,1	57,0	54,9	52,7	50,6	48,5	46,5	44,7
28	64,7	62,4	60,2	58,1	55,9	53,8	51,8	49,7	47,7
48	69,0	66,7	64,4	62,2	60,0	58,0	56,0	54,0	52,0
69	72,7	70,4	68,2	66,0	63,8	61,6	59,4	57,4	55,4
103	78,3	76,0	73,7	71,3	69,2	67,1	64,9	62,9	60,8
138	83,4	81,0	78,6	76,2	74,1	72,0	69,9	67,8	65,8
172	87,5	85,2	82,9	80,7	78,4	76,3	74,2	72,1	70,0
207	91,6	89,2	86,9	84,5	82,2	80,0	77,8	75,6	73,6
276	98,2	95,8	93,3	91,1	88,9	86,7	84,6	82,4	80,3
345	104,2	101,8	99,4	97,0	94,7	93,5	93,9	88,2	86,1
414	109,1	106,9	104,7	102,4	100,0	99,1	99,4	93,3	91,1
483	114,6	112,2	109,8	107,5	105,1	104,7	105,1	98,4	96,1
552	118,8	116,3	113,9	111,6	109,3	107,0	104,7	102,4	100,2
621	122,9	120,4	117,8	115,3	113,1	110,9	110,2	106,3	104,0
689	126,7	124,1	121,6	119,2	116,8	114,4	112,2	110,0	107,8
827	133,5	131,0	128,4	126,0	123,7	121,3	119,0	116,7	114,4
965	139,8	137,3	134,8	132,2	129,8	127,4	125,0	122,7	120,4
1103	145,1	142,6	140,1	137,5	135,1	132,7	130,3	127,9	125,5
1241	149,9	147,4	144,9	142,4	139,6	137,5	135,0	132,5	130,2
1379	154,7	152,1	149,4	146,9	144,3	141,9	139,5	137,1	134,6
1517	158,9	156,3	153,7	151,2	148,7	146,2	143,8	141,4	139,0
1655	163,2	160,5	157,9	155,2	152,8	150,3	147,9	145,4	142,9
1793	166,9	164,2	161,6	159,0	156,5	154,0	151,5	149,1	146,7

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.1.

Apêndice A.3 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) S.I.

Temperatura [°C] em função da concentração e da pressão [kPa] - Continuação

	24%	25%	26%	27%	28%	29%	30%	31%	32%
0	39,4	37,6	35,7	33,8	31,9	30,1	28,3	26,5	24,7
14	42,6	40,8	39,0	37,2	35,3	33,4	31,5	29,6	27,8
28	45,7	43,7	41,9	40,0	38,2	36,3	34,4	32,6	30,7
48	49,9	47,9	46,0	44,1	42,2	40,3	38,4	36,5	34,6
69	53,5	51,5	49,5	47,6	45,6	43,7	41,9	40,1	38,3
103	58,8	56,8	54,8	52,9	50,9	48,9	46,8	45,2	43,3
138	63,7	61,6	59,6	57,6	55,6	53,7	51,8	49,8	48,0
172	67,9	65,8	63,8	61,8	59,8	57,8	55,8	53,9	52,0
207	71,5	69,5	67,4	65,4	63,4	61,4	59,4	57,5	55,6
276	78,2	76,1	74,0	71,9	69,9	67,9	66,0	64,0	62,1
345	83,9	81,8	79,8	77,7	75,6	73,6	71,5	69,5	67,5
414	88,9	86,7	84,6	82,4	80,4	78,5	76,5	74,5	72,5
483	93,8	91,6	89,3	87,2	85,1	83,0	80,9	78,8	76,7
552	98,0	95,8	93,6	91,4	89,3	87,1	85,0	82,9	80,8
621	101,8	99,6	97,4	95,3	93,1	91,0	88,8	86,7	84,7
689	105,6	103,3	100,8	98,7	96,5	94,4	92,3	90,2	88,2
827	112,1	109,8	107,5	105,1	103,0	100,8	98,7	96,6	94,6
965	118,0	115,6	113,3	111,1	108,9	106,7	104,4	102,3	100,2
1103	123,2	120,9	118,6	116,3	114,1	111,9	109,8	107,5	105,1
1241	128,0	125,5	123,2	120,8	118,7	116,4	114,2	112,0	109,8
1379	132,2	129,9	127,6	125,3	123,0	120,7	118,5	116,4	114,2
1517	136,6	134,3	132,0	129,7	127,4	125,0	122,7	120,4	118,2
1655	140,4	138,0	135,6	133,2	130,9	128,7	126,4	124,1	121,8
1793	144,3	141,9	139,5	137,1	134,8	132,5	130,1	127,8	125,6

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.1.

Apêndice A.3 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) S.I.

Temperatura [°C] em função da concentração e da pressão [kPa] - Continuação

	33%	34%	35%	36%	37%	38%	39%	40%	41%
0	22,9	21,1	19,4	17,6	14,2	10,8	7,5	4,3	1,2
14	26,0	24,2	22,4	20,6	17,2	13,9	10,5	7,4	4,3
28	28,9	27,0	25,3	23,5	20,1	16,6	13,3	10,0	6,9
48	32,8	31,0	29,2	27,4	23,8	20,2	16,6	13,6	10,7
69	36,5	34,7	32,9	31,1	27,2	23,7	20,3	17,0	13,9
103	41,5	39,7	38,0	36,1	32,4	28,9	25,5	22,0	18,5
138	46,2	44,4	42,6	40,8	37,2	33,2	29,7	26,3	23,1
172	50,0	48,1	46,3	44,4	40,8	37,2	33,7	30,1	26,7
207	53,7	51,9	50,1	48,4	44,8	41,2	37,6	33,9	30,4
276	60,2	58,3	56,4	54,4	50,6	46,8	43,0	39,6	36,3
345	65,6	63,7	61,9	60,0	56,2	52,3	48,5	44,9	41,5
414	70,5	68,5	66,5	64,6	60,8	56,9	53,2	49,8	46,4
483	74,7	72,7	70,7	68,7	64,8	61,0	57,3	53,8	50,4
552	78,8	76,9	74,8	72,8	68,8	65,0	61,3	57,7	54,3
621	82,6	80,7	78,8	76,9	72,8	68,7	64,8	61,3	57,8
689	86,1	84,1	82,0	80,0	76,0	71,9	68,1	64,5	60,9
827	92,5	90,5	88,4	86,4	82,4	78,5	74,6	70,9	67,2
965	98,1	96,2	94,3	92,3	88,0	83,9	79,9	76,1	72,4
1103	102,9	100,7	98,5	96,6	92,7	88,6	84,7	80,9	77,2
1241	107,6	105,3	103,2	101,2	97,1	93,1	89,0	85,2	81,5
1379	111,9	109,6	107,4	105,3	101,3	97,3	93,3	89,4	85,5
1517	116,1	113,8	111,7	109,6	105,3	101,2	97,2	93,3	89,5
1655	119,6	117,5	115,3	113,2	108,9	104,7	100,8	96,9	93,0
1793	123,3	121,1	119,1	117,0	112,8	108,4	104,1	100,4	96,7

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.1.

Apêndice A.3 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) S.I.

Temperatura [°C] em função da concentração e da pressão [kPa] - Continuação

	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%
0	-1,8	-4,7	-7,5	-10,1	-12,6	-14,7	-16,8	-18,6	-20,0
14	1,3	-1,7	-4,5	-7,3	-9,6	-12,0	-13,7	-15,4	-17,0
28	3,8	0,8	-2,0	-4,6	-7,1	-9,1	-11,1	-12,9	-14,3
48	7,7	4,6	1,9	-0,7	-3,1	-5,4	-7,4	-9,1	-10,7
69	10,8	7,8	4,9	2,3	-0,2	-2,3	-4,2	-6,1	-7,7
103	15,1	12,4	9,7	7,1	4,4	2,4	0,3	-1,6	-3,1
138	19,8	16,7	13,8	11,1	8,7	6,4	4,3	2,6	0,9
172	23,6	20,5	17,7	14,9	12,5	10,0	8,1	6,3	4,4
207	27,0	24,0	21,0	18,3	15,7	13,5	11,4	9,4	7,8
276	32,9	29,9	27,0	24,3	21,8	19,5	17,4	15,3	13,6
345	38,3	35,2	32,2	29,4	26,7	24,4	22,2	20,2	18,4
414	43,0	39,7	36,6	33,8	31,1	28,6	26,3	24,5	22,7
483	47,1	44,0	40,9	37,9	35,3	32,7	30,6	28,6	26,6
552	50,9	47,7	44,6	41,7	38,9	36,4	34,2	32,0	30,3
621	54,4	51,1	47,9	44,9	42,2	39,7	37,3	35,4	33,5
689	57,5	54,1	51,0	48,1	45,3	42,7	40,6	38,5	36,6
827	63,6	60,0	56,9	53,9	51,1	48,5	46,3	44,1	42,2
965	68,9	65,4	62,1	59,0	56,2	53,6	51,3	49,1	47,3
1103	73,6	70,1	66,9	63,8	60,8	58,2	55,9	53,7	51,8
1241	77,9	74,5	71,1	68,1	65,2	62,6	60,0	58,0	56,0
1379	81,7	78,4	75,1	72,0	69,2	66,5	64,1	62,0	59,8
1517	85,7	82,1	78,7	75,5	72,7	70,1	67,8	65,6	63,6
1655	89,3	85,6	81,9	79,0	76,1	73,6	71,0	68,9	66,8
1793	93,0	89,4	85,9	82,4	79,6	76,9	74,5	72,2	70,1

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.1.

Apêndice A.3 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Concentração) S.I.

Temperatura [°C] em função da concentração e da pressão [kPa] - Continuação

	51%	52%	53%	54%	55%	56%	57%	58%
0	-21,5	-22,8	-23,9	-24,8	-25,7	-26,6	-27,5	-28,4
14	-18,4	-19,6	-20,7	-21,9	-23,0	-23,8	-24,5	-25,2
28	-15,8	-17,3	-18,4	-19,3	-20,3	-21,2	-22,2	-23,1
48	-12,3	-13,6	-14,8	-16,0	-17,3	-18,2	-18,9	-19,7
69	-9,1	-10,5	-11,9	-13,0	-14,0	-14,9	-15,9	-16,9
103	-4,7	-6,2	-7,4	-8,5	-9,6	-10,7	-11,8	-12,6
138	-0,8	-2,1	-3,4	-4,6	-5,9	-6,9	-7,7	-8,5
172	3,0	1,6	0,2	-1,2	-2,2	-3,1	-4,1	-5,1
207	6,2	4,5	3,3	2,1	0,8	-0,4	-1,4	-2,2
276	11,9	10,3	8,9	7,7	6,4	5,2	4,1	3,3
345	16,6	15,0	13,7	12,4	11,1	9,8	8,9	8,0
414	20,9	19,4	18,0	16,5	15,2	14,1	13,0	12,0
483	25,0	23,4	21,8	20,5	19,3	18,2	17,0	15,8
552	28,5	26,8	25,4	24,1	22,8	21,4	20,4	19,4
621	31,8	30,2	28,7	27,1	25,8	24,7	23,5	22,3
689	34,9	33,1	31,6	30,2	28,9	27,5	26,3	25,3
827	40,4	38,7	37,1	35,7	34,3	32,9	31,7	30,7
965	45,5	43,8	42,2	40,7	39,3	37,8	36,7	35,6
1103	49,9	48,2	46,6	45,1	43,5	42,3	41,1	40,0
1241	54,0	52,4	50,7	49,1	47,7	46,4	45,1	43,8
1379	58,0	56,1	54,3	52,8	51,3	49,8	48,4	47,3
1517	61,7	59,8	58,1	56,5	54,9	53,6	52,3	51,0
1655	64,9	63,1	61,3	59,6	58,2	56,8	55,4	54,1
1793	68,1	66,2	64,5	62,8	61,1	59,6	58,4	57,2

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.1.

Apêndice A.4 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Pressão) S.I.

Entalpia [kJ/kg] em função da Temperatura [°C] e da pressão [kPa]

	182,2	176,7	171,1	165,6	160,0	154,4	148,9	143,3	137,8
0									
14									
28									
48									
69									
103									
138									
172									
207									
276									
345									
414									138,4
483								144,2	138,7
552						155,7	150,5	144,5	138,5
621					161,8	155,8	150,2	144,6	138,5
689				167,3	161,6	156,0	150,4	144,3	138,3
827				167,5	161,4	155,7	150,0	143,9	138,2
965			172,9	167,2	161,1	155,3	149,6	143,5	137,8
1103		179,1	172,9	167,1	160,9	155,1	149,3	143,5	137,3
1241	184,9	179,0	172,8	166,9	160,6	154,8	148,9	143,0	137,2
1379	185,1	179,2	172,9	166,9	160,6	154,6	148,7	142,8	137,3
1517	184,6	178,6	172,3	166,3	160,0	154,4	148,5	142,6	137,1
1655	184,8	178,3	171,9	165,9	159,8	153,8	148,2	142,2	137,1
1793	184,1	177,7	171,3	165,3	159,3	153,3	147,8	142,2	137,1

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.2.

Apêndice A.4 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Pressão) S.I.

Entalpia [kJ/kg] em função da Temperatura [°C] e da pressão [kPa]

132,2	126,7	121,1	115,6	110,0	104,4	98,9	93,3	87,8	82,2
									82,8
								94,3	83,5
								94,1	83,0
						99,5		94,6	82,8
					105,6	99,9		94,3	82,9
				113,5	104,9	99,3		94,0	82,3
			116,0	110,3	105,1	99,4		94,1	82,4
		121,4	116,1	110,4	105,2	99,5		93,8	82,1
	127,5	122,1	116,3	110,9	105,1	99,4		93,6	82,1
132,8	127,4	122,0	116,6	110,8	105,0	99,2		93,4	81,8
133,1	127,3	121,8	116,4	110,6	104,7	98,9		93,1	81,4
133,0	127,1	121,7	116,2	110,3	104,5	98,6		92,8	81,4
132,8	127,3	121,5	116,0	110,1	104,2	98,3		92,8	81,4
133,0	127,4	121,4	115,8	109,8	103,8	98,2		92,6	81,5
132,9	127,3	121,3	115,7	109,6	103,6	98,4		92,8	81,5
132,7	127,1	121,0	115,4	109,4	103,7	98,5		92,9	82,0
132,5	126,8	120,7	115,0	109,3	104,0	98,3		92,6	82,8
132,1	125,9	120,2	114,9	109,2	103,9	98,6		93,3	83,9
131,5	126,1	120,3	114,9	109,5	104,1	99,2		93,8	84,7
131,3	125,9	120,4	114,6	109,1	104,1	99,1		94,1	85,7
131,4	125,8	120,3	114,8	109,3	104,7	100,0		94,9	86,9
131,5	126,0	120,5	115,0	109,9	105,3	100,6		95,9	88,7
131,5	125,9	120,3	115,1	110,0	105,7	101,0		96,7	93,2
131,5	126,0	120,8	115,7	111,0	106,7	102,0		98,2	95,2

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.2.

Apêndice A.4 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Pressão) S.I.

Entalpia [kJ/kg] em função da Temperatura [°C] e da pressão [kPa]

76,7	71,1	65,6	60,0	54,4	48,9	43,3	37,8	32,2	26,7
77,3	71,4	66,3	60,1	54,5	48,7	43,2	36,9	31,4	25,5
77,8	71,9	66,3	60,3	54,3	48,7	42,7	36,7	31,1	25,5
77,1	71,5	66,0	60,1	54,1	48,6	42,7	36,7	31,2	26,4
77,5	71,5	65,8	59,8	53,7	48,0	42,4	36,3	31,0	26,5
77,3	71,2	65,5	59,9	53,8	48,1	42,5	36,8	31,5	27,3
76,7	71,1	65,1	59,4	53,8	48,1	42,1	37,3	32,7	29,0
76,7	70,7	65,0	59,4	53,7	48,1	42,8	38,2	34,1	30,7
76,4	70,8	65,1	59,4	53,7	48,5	43,5	39,4	35,6	32,2
76,3	70,5	64,7	59,0	53,6	48,2	44,0	40,1	36,3	33,2
76,0	70,2	64,5	59,0	54,0	49,8	45,5	42,0	39,0	36,6
76,0	70,1	64,7	59,7	55,0	51,1	47,6	44,5	42,2	
76,0	70,1	65,4	60,4	56,5	52,9	49,8	47,1	45,1	
75,9	70,8	66,1	61,8	57,8	54,7	52,0	49,6	48,4	
75,9	70,7	66,3	62,3	58,7	55,5	53,1			
76,3	71,5	67,5	63,5	59,8					
77,2	72,4	68,4	64,7	61,9					
78,0	73,9	70,2	67,4	64,5					
79,8	75,7	72,9	70,0	68,4					
80,9	77,6	74,7							
81,9	79,0								
83,9									

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.2.

Apêndice A.4 - Dados relativos à solução de água e amônia (Temperatura X Pressão) S.I.

Entalpia [kJ/kg] em função da Temperatura [°C] e da pressão [kPa]

21,1	15,6	10,0
20,7	16,0	11,9
20,6	16,2	12,4
21,5	17,5	14,1
22,0	18,2	14,8
23,2	19,8	17,1
25,2	22,2	20,3
27,3	25,0	23,1
29,6	28,0	26,2
30,9		

Fonte: Elaborado a partir do apêndice A.2.

Apêndice A.5- Coeficientes de regressão e correlação (Temperatura x Concentração)

Coeficientes de temperatura [°C] em função da concentração			
Pressão [kPa]	Coeficiente a	Coeficiente b	Coef. de correlação
0	-197,55	87,43	-0,9991
14	-199,64	91,23	-0,9991
28	-202,49	95,03	-0,9990
48	-204,50	99,60	-0,9991
69	-205,09	103,37	-0,9988
103	-207,66	109,32	-0,9989
138	-209,29	114,55	-0,9989
172	-211,85	119,31	-0,9992
207	-212,94	123,37	-0,9989
276	-215,33	130,46	-0,9990
345	-218,76	137,22	-0,9987
414	-221,37	142,88	-0,9985
483	-226,71	148,98	-0,9985
552	-226,11	152,76	-0,9993
621	-227,18	156,98	-0,9991
689	-229,51	161,10	-0,9991
827	-231,62	168,21	-0,9992
965	-234,37	174,84	-0,9992
1103	-237,68	180,76	-0,9994
1241	-239,60	185,94	-0,9993
1379	-241,24	190,75	-0,9993
1517	-242,56	195,38	-0,9993
1655	-245,39	199,91	-0,9993
1793	-245,36	203,68	-0,9993

Coeficientes obtidos a partir do apêndice A.3,
Valores válidos para concentrações entre 11% e 38%.

Apêndice A.6- Coeficientes de regressão e correlação (Entalpia x Temperatura)

Coeficientes de entalpia em função da temperatura [°C]			
Pressão [kPa]	Coeficiente a	Coeficiente b	Coef. de correlação
0	0,1580	33,2376	0,9991
14	0,1607	34,1070	0,9987
28	0,1593	35,2448	0,9992
48	0,1626	35,9453	0,9987
69	0,1626	37,1732	0,9990
103	0,1616	38,7536	0,9991
138	0,1623	40,1250	0,9992
172	0,1625	41,2749	0,9995
207	0,1654	41,6604	0,9991
276	0,1661	43,2007	0,9991
345	0,1670	44,5053	0,9991
414	0,1679	45,5181	0,9993
483	0,1688	46,4546	0,9994
552	0,1717	46,3185	0,9993
621	0,1726	47,0001	0,9994
689	0,1729	47,8474	0,9996
827	0,1751	48,2304	0,9996
965	0,1755	49,1897	0,9995
1103	0,1780	49,0700	0,9996
1241	0,1799	48,8802	0,9993
1379	0,1821	48,7467	0,9993
1517	0,1823	49,2802	0,9994
1655	0,1848	48,5112	0,9992
1793	0,1839	49,4108	0,9990

Coeficientes obtidos a partir do apêndice A.4,
Valores válidos para concentrações entre 9% e 42%.

