

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

RODNEY FERREIRA JUNIOR

**ANÁLISE TERMODINÂMICA E PERFORMANCE DE UMA BANCADA DE
REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

RODNEY FERREIRA JUNIOR

**ANÁLISE TERMODINÂMICA E PERFORMANCE DE UMA BANCADA DE
REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso 2
apresentado à Coordenação de Engenharia
Mecânica (COEME), da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR.
Orientador: Prof. Dr. Henrique Cotait Razuk.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE TERMODINÂMICA E PERFORMANCE DE UMA BANCADA DE
REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA
POR

ROODNEY FERREIRA JUNIOR

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 14:00 hs do dia 10 de dezembro de 2014 como requisito parcial para obtenção do título de ENGENHEIRO MECÂNICO, linha de pesquisa – Refrigeração, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO
(aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado)

Prof. Dr. Henrique Cotait Razuk
(UTFPR)
orientador

Prof. Dr. Rubens Gallo
(UTFPR)

Prof. Me. José Carlos Pereira Pinto
(UTFPR)

DEDICATÓRIA

À minha família, namorada e amigos,
por sempre me apoiarem em meus objetivos
de vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Henrique Cotait Razuk pela oportunidade cedida, e pelo apoio prestado durante a execução deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR por todos esses anos de ensino com qualidade e seriedade, e também pelo espaço físico fornecido para estudos.

Aos meus familiares, Rodney, Eliana, Karoliny, Isabela e Lucas por ter me incentivado o curso inteiro e sempre estarem ao meu lado me apoiando em minhas decisões.

Aos demais familiares Tios, Tias, Avós e Primos por todo apoio prestado.

À minha namorada, Luana por ser paciente comigo durante os anos de faculdade e por me incentivar positivamente quando necessário.

Aos meus amigos de República por esses anos de companheirismo, Arthur, Pezao, Zenky, Amadeus, Vinícios, Jose, Kelvin; e aos amigos em geral de universidade e do próprio dia-a-dia.

À Deus por dar força e saúde, para realização de minhas metas.

“Conheça o mundo, más não esqueça o quintal de sua casa”.

Autor Desconhecido

FERREIRA, R. J. **ANÁLISE TERMODINÂMICA E PERFORMANCE DE UMA BANCADA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA.** Cornélio Procópio. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2014.

RESUMO

O assunto abordado nesse trabalho tem como objetivo a refrigeração por absorção contínua de amônia aplicada a uma bancada didática localizada no laboratório de energias da UTFPR – Campus: Cornélio Procópio, onde foram relatados os principais métodos de refrigeração, tendo também o entendimento do funcionamento da bancada e seus componentes. Foram colocados em prática para análise termodinâmica três tipos distintos de aquecimentos para o gerador do sistema de refrigeração, sendo eles: resistência elétrica com utilização da fonte de energia oriunda da rede elétrica, utilização de painéis fotovoltaicos para geração e transmissão de energia para a resistência e gás GLP como fornecedor de calor para o sistema, através de chama. Com as análises do ciclo o calculo do rendimento de performance do gás GLP se mostrou mais eficiente em comparação à energia elétrica da rede e os painéis fotovoltaicos , tendo sua eficácia superior à 4% e 5% respectivamente.

Palavras-chaves: Refrigeração, COP, Absorção.

FERREIRA, R.J. THERMODYNAMICS ANALYSIS AND PERFORMANCE A BENCH FOR CONTINUOUS AMMONIA REFRIGERATION ABSORPTION.
Cornélio Procópio. Work Completion of course. Federal Technological University of Paraná - UTFPR, 2014.

ABSTRACT

The subject on this work aims to cooling by continuous absorption of ammonia applied to a bank located in the didactic laboratory energies of UTFPR - Campus: Cornelius, where the main cooling methods have been reported, also with understanding the functioning of the bench and its components. Were put in place for three different types of heating thermodynamic analysis for the cooling system of the generator, namely: electrical resistance using the power source coming from the power supply, use of photovoltaic panels for energy generation and transmission for strength and LPG gas as a heat supplier for the system, through flame. With the cycle analyzes the calculation of the gas LPG operating performance was more efficient compared to the electricity network and photovoltaic panels, and its superior efficacy to 4% and 5% respectively.

Keywords: Refrigeration, COP, Absorption.

LISTA DE ABREVIATURAS

ACDA	Absorção Contínua de Amônia
Atm	Pressão Atmosférica
COP	Coeficiente de Performance
CFC's	Cloro Fluor Carbonetos
DDP	Diferença de Potencial
FC's	Fluor Carbonetos
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
H ₂ O	Água
LiBr	Brometo de Lítio
NH ₃	Amônia
Pa	Pressão (Pascal)
R	Constante Universal dos Gases Ideais
SF	Solução Fraca
SL	Solução
SR	Solução Rica
TCS	Trocador de Calor
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SIGLAS

h_1	Entalpia de saída do evaporador
h_3	Entalpia de saída de solução rica do absorvedor
h_4	Entalpia de entrada de solução no absorvedor
h_5	Entalpia de saída de solução fraca do gerador
h_6	Entalpia de entrada de solução rica no gerador
h_7	Entalpia de entrada no condensador
h_8	Entalpia de saída do condensador
h_9	Entalpia de entrada do evaporador
h_c	Entalpia de concentração na saída do gerador
\dot{m}_1	Vazão mássica de saída do evaporador
\dot{m}_3	Vazão mássica de solução rica do absorvedor
\dot{m}_4	Vazão mássica de entrada de solução no absorvedor
\dot{m}_5	Vazão mássica de saída de solução fraca do gerador
\dot{m}_6	Vazão mássica entrada de solução rica no gerador
\dot{m}_7	Vazão mássica de entrada no condensador
\dot{m}_8	Vazão mássica de saída do condensador
\dot{m}_9	Vazão mássica de entrada no evaporador
\dot{m}_c	Vazão mássica de concentração na saída do gerador
x_1	Concentração da solução na saída do evaporador
x_3	Concentração da solução rica na saída do absorvedor
x_4	Concentração da solução na entrada do absorvedor
x_5	Concentração solução fraca na saída do gerador
x_6	Concentração de solução rica na entrada do gerador
x_7	Concentração de solução na entrada do condensador
x_9	Concentração de solução na entrada do evaporador
x_c	Concentração pura na saída do gerador
\dot{Q}_e	Energia do evaporador
$\dot{Q}_{cond.}$	Energia do condensador
\dot{Q}_g	Energia do gerador
\dot{Q}_a	Energia do absorvedor

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema básico de um ciclo de refrigeração por compressão.....	16
Figura 2.2 – Ciclo de refrigeração por adsorção intermitente, fase de dessorção (regeneração) do refrigerante.....	17
Figura 2.3 – Ciclo de refrigeração por adsorção intermitente, fase adsorção provocando o efeito frigorífico.....	17
Figura 2.4 – Ciclo de refrigeração por absorção.....	19
Figura 2.5 – Ciclo de absorção com trocador de calor.....	21
Figura 2.6 – Intensidade de luminosidade em relação à I/V.....	23
Figura 2.7 – Painel fotovoltaico alimentando um controlador.....	24
Figura 2.8 – Botijão de gás.....	25
Figura 2.9 – Exemplo de resistência elétrica.....	26
Figura 2.10 – Ciclo de refrigeração por absorção contínua.....	28
Figura 2.11 – Diagrama de sistema de absorção contínua.....	29
Figura 2.12 – Esquema de funcionamento, bancada de refrigeração.....	33
Figura 3.1 – Bancada didática de absorção de amônia.....	38
Figura 3.2 – Diagrama elétrico.....	40
Figura 3.3 – Layout Interno.....	41
Figura 3.4 – Regulador de chamas.....	42
Figura 3.5 – Bateria 12V.....	42
Figura 3.6 – Disposição dos painéis solares no ambiente externo.....	43
Figura 3.7 – Controlador de carga de bateria.....	44
Figura 3.8 – Gerador da bancada de refrigeração.....	49
Figura 3.9 – Evaporador da bancada de refrigeração.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Pressões parciais em (libras por polegada quadrada absoluta) de H ₂ O ao longo de soluções aquosas de NH ₃	30
Tabela 2.2 – Amônia Saturada.....	31
Tabela – 3.1 Dados específicos da bancada.....	38
Tabela 3.2 – Ligações das Partidas.....	39
Tabela 3.3 – Lista de componentes elétricos da bancada.....	40
Tabela 3.4 – Lista de materiais, painéis fotovoltaicos.....	43
Tabela 4.1 – Fatores do experimento com energia elétrica.....	52
Tabela 4.2 – Dados obtidos no ensaio, rede elétrica.....	53
Tabela 4.3 – Fatores do experimento gás GLP.....	54
Tabela 4.4 – Dados obtidos no ensaio, gás GLP.....	55
Tabela 4.5 – Fatores do experimento células fotovoltaicas.....	56
Tabela 4.6 – Dados obtidos no ensaio, células fotovoltaica.....	57
Tabela 4.7 – Coeficientes de Performance.....	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR.....	16
2.2 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO.....	17
2.3 REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO.....	18
2.4 SISTEMA DE ABSORÇÃO COM INSERSÃO DE TROCADOR DE CALOR 21	
2.5 SISTEMAS DE PARTIDAS DO GERADOR.....	22
2.5.1 Energia Solar.....	22
2.5.2 Gás GLP.....	25
2.5.3 Energia Elétrica.....	26
2.6 REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA.....	27
2.6.1 Solução água-amônia-hidrogênio.....	30
2.6.2 Lei de Dalton.....	31
2.7 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA SISTEMAS DE ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA	33
2.7.1 Concentração em massa.....	34
2.7.2 Balanço de massa e energia no gerador.....	34
2.7.3 Balanço de massa e energia no condensador.....	35
2.7.4 Balanço de massa e energia no evaporador.....	36
2.7.5 Balanço de massa e energia no absorvedor.....	36
2.7.6 Balando de massa e energia no retificador.....	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 MATERIAIS	39
3.1.1 Chaves de Ligações.....	39
3.1.2 Eletricidade.....	39
3.1.3 Gás GLP.....	41
3.1.4 Painéis fotovoltaicos.....	42
3.2 MÉTODOS.....	45
3.2.1 Cálculo das energias e COP.....	45

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 ENERGIA ELÉTRICA DA REDE.....	52
4.2 GÁS GLP.....	54
4.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	56
4.4 COEFICIENTES DE PERFORMANCE	58
5. CONCLUSÃO.....	59
6. REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais vem crescendo a forma como é tratado o conceito de refrigeração, e alguns métodos estão sendo buscados na melhoria do desempenho do sistema, e a análise do impacto ambiental que esse sistema implica.

Os sistemas de refrigeração são empregados em larga escala, em diversas partes do mundo, de diferentes maneiras. Algumas tecnologias diferem uma da outra, mais o princípio de refrigeração tende a ser sempre o mesmo, a retirada de calor de um determinado ambiente.

A busca da questão ambiental e econômica são fatores primordiais para planejamento e execução de qualquer projeto. A refrigeração requer uma carga de energia muito grande para seu funcionamento, e novas tecnologias de energias renováveis estão sendo muito utilizadas, como, energia eólica, energia solar, marítima e etc.

Em todo o mundo, há uma crescente busca por mudanças em diversos processos produtivos por motivos ligados a três preocupações: meio ambiente energia e economia global. Neste contexto, apesar de a matriz energética brasileira ser aproximadamente 46% renovável, valor muito superior à média mundial de 12%, ainda há muito que se fazer no que se refere à economia de energia. Basta lembrar-se de crises como a de 2001, quando a ausência de chuvas limitou a produção das hidrelétricas e, conseqüentemente, levou o país a um longo período de racionamento de energia elétrica, influenciando direta e indiretamente todos os setores da economia e da política brasileira (VICHI & MANSOR, 2009).

Deve-se ter em mente que um ciclo de refrigeração é um sistema térmico que transfere energia em forma de calor de uma região de baixo potencial energético para uma região de alto potencial energético. Como o saldo de variação de energia é positivo, significa que a energia adentra no sistema, portanto, em um ciclo de refrigeração se faz necessária uma fonte de energia externa (FERZOLA, 2010).

O sistema de refrigeração por absorção utilizando amônia-água-hidrogênio, também conhecido como sistema por absorção contínua de amônia, foi desenvolvido em 1920 pelos suecos Baltazar von Platen e Carl Munters. Tem como

base o ciclo amônia-água, com a adição de hidrogênio para equalizar a pressão em todo o sistema. Empregado em refrigeradores residenciais e veiculares, o ciclo não possui bomba de recirculação de solução, fazendo com que esses equipamentos sejam extremamente silenciosos.

O sistema de absorção foi patenteado nos Estados Unidos em 1860 pelo francês Ferdinand Carré (Stoecker & Jones, 1985). Começou assim a comercialização desse tipo de sistema, que foi largamente utilizado até o início deste século. Esse ciclo consome energia na forma de calor, que naquela época era obtido basicamente por combustão.

Com o crescimento da eletrificação urbana, essas máquinas foram substituídas por refrigeradores a compressão mecânica, que consomem energia na forma de trabalho, obtido geralmente de motores elétricos. Existem máquinas de absorção aquecidas por energia elétrica, porém são menos eficientes que as de compressão. (ALEOTTI, LUÍS OTÁVIO MAIA, 1986).

1.1 OBJETIVO

Os principais objetivos desse trabalho são:

- Compreender o funcionamento em geral da bancada, quanto ao seu comportamento térmico e seus principais componentes, tanto os que compõem a bancada quanto os que irão ser empregados nas partidas do gerador.

- Analisar as temperaturas e pressões do ciclo termodinâmico da bancada, com o emprego da literatura para refrigeração por absorção contínua de amônia e conseqüentemente o cálculo de performance para os três tipos de partidas distintas adotadas no sistema.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

As tecnologias baseadas na compressão de vapor, que necessitam e tem um alto consumo de energia elétrica, e que se tornam inviáveis em alguns lugares isolados, possuem outro inconveniente que é de utilizar, em geral, gases que ao serem liberados na atmosfera, colaboram com o aquecimento global e atacam a camada de ozônio, que protege os seres vivos dos nocivos raios ultravioletas. Como exemplo destes gases, têm-se os refrigerantes sintéticos CFC's, HCFC's e HFC's, que tendem a serem banidos conforme tratados internacionais, Protocolo de Montreal e de Kyoto, por exemplo.

O princípio básico da refrigeração na maior parte dos casos é constituído por um compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador e um refrigerante, como ilustrado na Fig. 2.1. O compressor comprime o gás refrigerante o levando-o até o condensador onde este cede calor ao meio ambiente, do condensador o refrigerante segue até uma válvula de expansão onde diminui drasticamente sua pressão e temperatura, o gás então entra no evaporador da forma líquida e retira calor do ambiente.

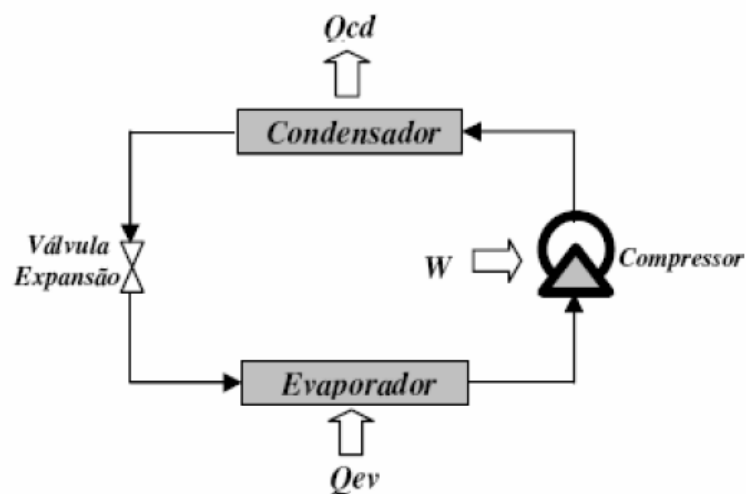


Figura 2.1 – Esquema básico de um ciclo de refrigeração por compressão
Fonte: GARCIA et al., 2007.

2.2 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO

A adsorção é um fenômeno superficial que ocorre na interface de duas fases que ocorre quando se coloca uma matriz porosa sólida (adsorvente) em contato com uma mistura de fluidos (adsorvato) (VARGAS, 2010). O ciclo de refrigeração por adsorção pode ser dividido em duas partes, conforme mostrados nas Fig. 2.2 e Fig. 2.3. Como mostrado na Fig. 2.2 o fornecimento da energia (Q_H), é iniciado o processo de dessorção, quando a pressão de saturação do adsorvato se iguala pressão do condensador. O adsorvato fluirá na forma de vapor para o condensador, liquefazendo-se com a liberação do calor de condensação (Q_P).

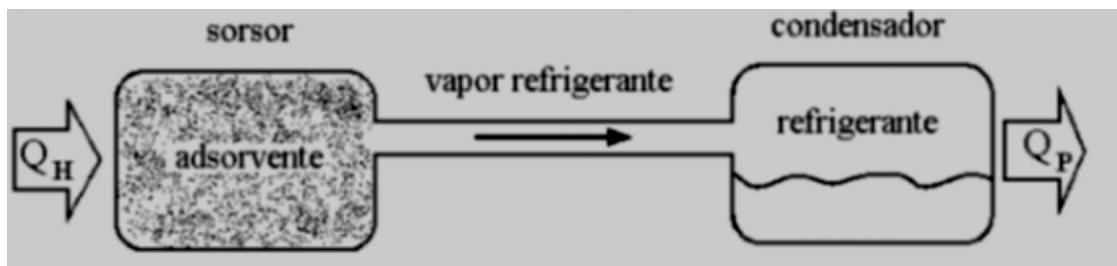


Figura 2.2 – Ciclo de refrigeração por adsorção intermitente, fase de dessorção (regeneração) do refrigerante

Fonte: SOUZA, 2007 citado por VARGAS, 2010.

Reduzindo-se a temperatura do sorsor com a retirada do calor (Q_P), a temperatura e a pressão do condensador passam a operar como evaporador, quando o fluido refrigerante flui para o sorsor. Normalmente, esse processo é intermitente, devido à dificuldade de escoar o adsorvente, que é de fase sólida, como mostrado na Fig. 2.3.

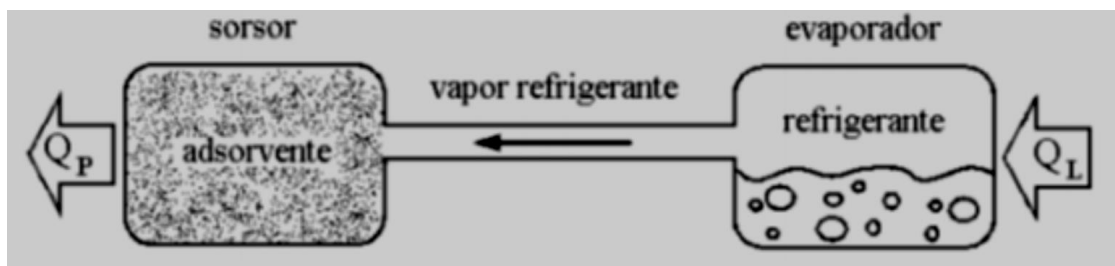


Figura 2.3 – Ciclo de refrigeração por adsorção intermitente, fase adsorção provocando o efeito frigorífico

Fonte: SOUZA, 2007, citado por VARGAS, 2010.

2.3 REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

Algo que vem sendo empregado comumente são os ciclos de absorção de refrigerante que, comparando-os com os ciclos de compressão de vapor, dispensam a utilização de um compressor para comprimir o gás refrigerante, gastando assim menos energia no sistema.

Os ciclos de refrigeração por absorção configuram um dos mais antigos métodos de refrigeração. Esses sistemas utilizam pares de fluidos na sua operação, geralmente amônia-água ou água-brometo de lítio, um atuando como refrigerante e outro como absorvente (MENNA, 2008)

Basicamente, a absorção de fluidos refrigerantes segue um mesmo ciclo seja qual for a mistura utilizada nele. Uma atenção especial deve e será dada para os casos em que a mistura for de amônia-água, onde a amônia é o fluido refrigerante e a água é o fluido absorvente, devido as suas propriedades e sua grande utilização comercial.

ROMANO et al., (2012), buscando uma análise energética de um ciclo de refrigeração por absorção com a mistura amônia-água como fluido refrigerante, efetuaram uma simulação em programa comercial MATLAB® para determinar as propriedades termodinâmicas de cada estado do sistema a partir de algumas condições de contorno para o funcionamento de um ciclo de refrigeração ideal. Após a obtenção de todos os estados, verificou-se que a energia necessária para a operação do sistema está dentro de uma faixa que torna viável a sua aplicação com a utilização de fontes alternativas de energia.

Segundo (DORGAN et al. (1995)) “As vantagens de sistemas de absorção, contudo, permanecem as mesmas ao longo do tempo e incluem as seguintes: Sistemas de absorção necessitam de menor consumo de energia elétrica quando comparados com os sistemas de compressão; Bancadas de absorção são silenciosas e livres de vibração; Plantas de absorção não causam dano à camada de ozônio e podem ter menor impacto no aquecimento global do que outras opções; Calor recuperado pode ser utilizado como insumo energético (em substituição ao trabalho mecânico) em ciclos de refrigeração por absorção”.

Como o ciclo por absorção dispensa compressores, o consumo de energia para o sistema diminui muito, mais ainda sim existe uma bomba para fazer o recalque da mistura do absorvedor até o gerador, como mostrado na Fig. 2.4, tendo que a energia gasta por esta bomba se comparada à gasta pelo compressor é desprezível.

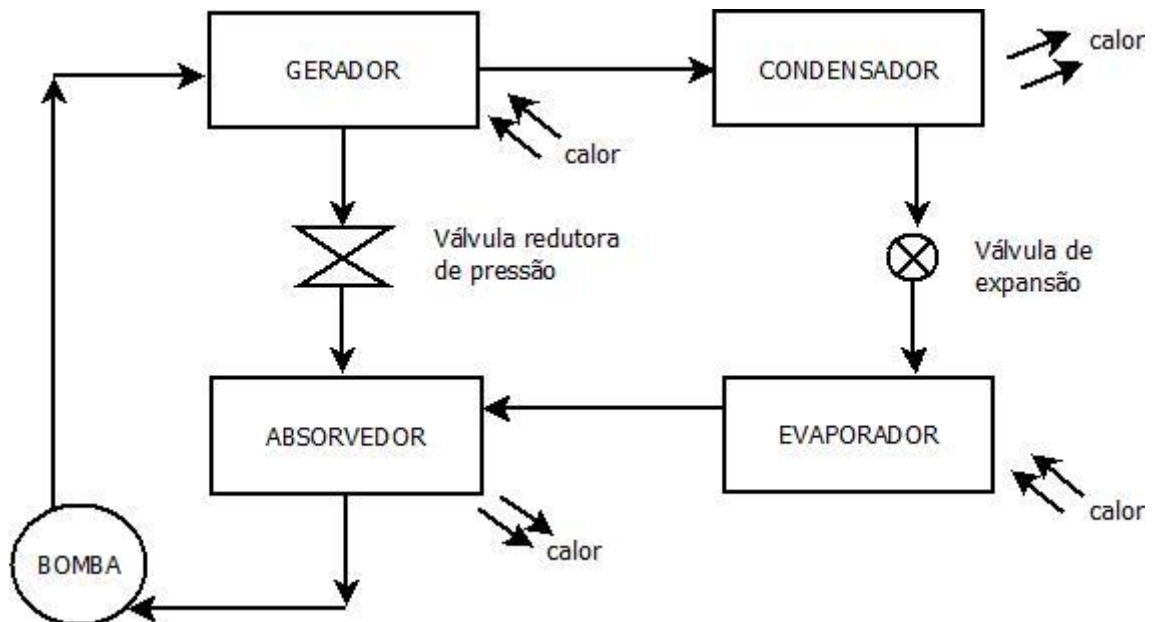


Figura 2.4 – Ciclo de refrigeração por absorção
Fonte: Unicamp/Absorção.

Os principais itens que compõem o ciclo de absorção são: gerador, absorvedor, evaporador, condensador e bomba de recalque;

A função do gerador no sistema é o aquecimento da mistura rica que oriunda do absorvedor, o fluido absorvente é o componente principal para a eficiência energética do gerador, uma vez que, para se aquecer e elevar a pressão de um fluido se gasta muito menos energia, do que se fosse para um gás, portanto, com a solução rica tendo água mais amônia, em sua mistura, o gerador consome drasticamente menos energia para aquecer e evaporar o refrigerante. O gerador devolve para o absorvedor uma SF, onde se juntará com o vapor de amônia do evaporador, formando assim uma nova SL.

O absorvedor tem como finalidade reverter o vapor de amônia para forma líquida, facilitando o transporte entre os dutos do sistema e beneficiando o consumo de energia pelo gerador. Existem três canais básicos de alimentação para o absorvedor, sendo eles, dois deles entrada e um de saída, o evaporador após retirar

calor do ambiente, despeja no absorvedor a amônia em forma de vapor (entrada 1), onde o absorvedor recendo essa amônia à mistura com a SF vinda do gerador (entrada 2), devolvendo ao gerador à SL em NH_3 .

A linguagem conhecida para o evaporador é: “onde é feito o frio”, na maioria dos casos, quando se fala com pessoas leigas do assunto, no caso da refrigeração, elas dotam como certo que a refrigeração “injeta” ar frio dentro do sistema, fazendo com que a temperatura caia. Na verdade o evaporador retira energia na forma de calor do sistema, transmitindo-o para o refrigerante aplicado. No sistema de absorção o evaporador tem essa finalidade, a amônia que entra na forma líquida passa por uma válvula de expansão tendo sua pressão aliviada drasticamente causando uma queda de temperatura no refrigerante, assim, por convecção natural, a amônia retira o calor do ambiente.

O nome do equipamento condiz com sua função de condensar. O condensador equipamento geralmente interligado entre o evaporador e o gerador, tem como finalidade a condensação do gás de amônia provinda do gerador, transformando-o para fase líquida para que o evaporador possa recebê-la. Esse equipamento retira energia em forma de calor do gás e o transfere para o ambiente, através de aletas (pequenas placas acopladas ao condensador, que fazem com que o calor se dissipe com uma melhor, eficiência e tempo) para que o gás saia na forma líquida.

O objetivo da bomba de recalque é o bombeamento da SR para o gerador, para um recomeço de ciclo.

2.4 SISTEMA DE ABSORÇÃO COM INSERSÃO DE TROCADOR DE CALOR

Pode ser adicionado ao sistema um trocador de calor (TCS) como visto na Fig. 2.5, importante no reaproveitamento de fluxos de calor, sendo que para uma mesma demanda de refrigeração, o COP é aumentado em 60%, se comparado com o mesmo ciclo de refrigeração sem TCS, já que o fluxo de calor fornecido ao gerador será menor (SRIKHIRIN et al., 2001).

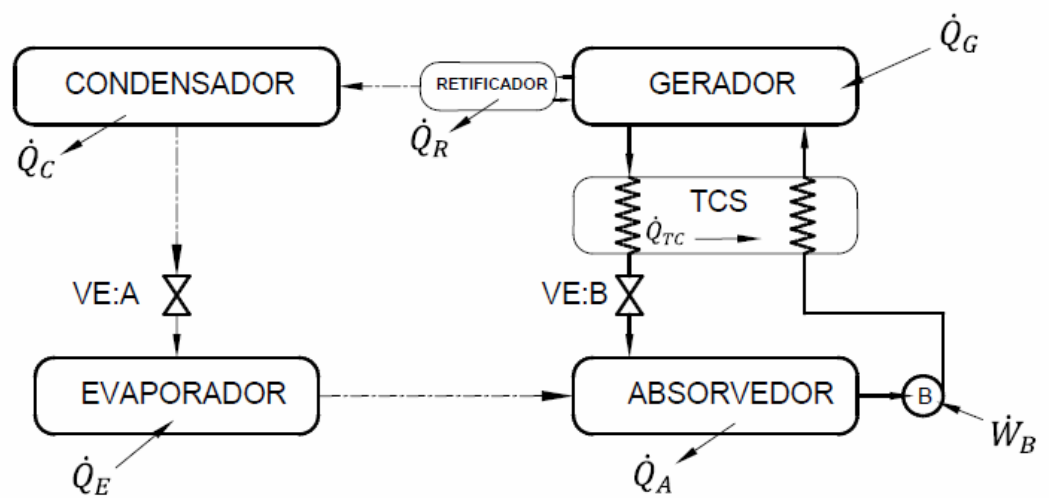


Figura 2.5 – Ciclo de absorção com trocador de calor
Fonte: (ZAVALETA-AGUILAR, 2010).

2.5 SISTEMAS DE PARTIDAS DO GERADOR

Existem várias formas de fornecimento de calor para o gerador, algumas delas são: energia solar, gás GLP e energia elétrica da rede.

2.5.1 Energia Solar

A energia renovável tem ganhado olhares do mundo todo, pois com destruição da camada de ozônio, desmatamento desenfreado, poluição excessiva vem afetando diretamente a produção de energia elétrica, tendo que a mesma também contribui para esses fatores. A algumas alternativas estão sendo estudadas como: energia marítima (retirada através das ações da maré), biocombustíveis, energia solar, energia eólica entre outras.

A energia solar vem adquirindo um grande espaço no contexto de energia limpa, sendo que alguns países como Holanda uma grande parte das casas do país já se auto sustenta com a fonte solar. Os painéis fotovoltaicos, como são chamados os captadores da irradiação solar, e tem como finalidade transformar essa irradiação em energia elétrica. Nesses painéis fotovoltaicos estão alocadas as células fotovoltaicas geralmente feitas de silício ou arsenieto de gálio, uma vez que, esses materiais possuem uma propriedade física que geram ao captarem a energia solar uma DDP (Diferença de Potencial), onde se produz corrente elétrica, gerando assim, energia elétrica. Esses painéis podem ser ligados diretamente a um gerador de refrigeração, com uma potência útil verificada em cada painel ou até mesmo alimentar uma bateria de 12V que a mesma irá alimentar as resistências contidas no gerador.

A fixação dos painéis está diretamente ligada com sua potência, tendo que existi um estudo do grau de inclinação e orientação das placas em relação ao sol, no sentido de absorver a maior incidência solar no período do dia. As estações do ano são fatores que também influenciam nessa orientação. No período do verão e outono é indicada a fixação do painel voltado para o Norte, com uma inclinação igual

à latitude do local mais um acréscimo de 15 graus. Já na primavera e inverno, se recomenda também direcionadas ao Norte, e com a inclinação referente à latitude do local.

Quando se necessita de uma potência mais elevada do que um painel pode fornecer são feitos arranjos dos mesmos no sentido de somar suas potências a fim de fornecer o ideal para o uso, uma vez que os painéis não são lineares no sentido de fornecimento de corrente elétrica, por depender da incidência solar para se gerar a mesma. A Fig. 2.6 a seguir, conhecida como curva do joelho, pois sua característica lembra a curva de um joelho, mostra a relação na potência para uma temperatura de 25 graus celsius, da corrente e tensão gerada em um placa, cuja potência ideal de trabalho seria 100 mW/cm².

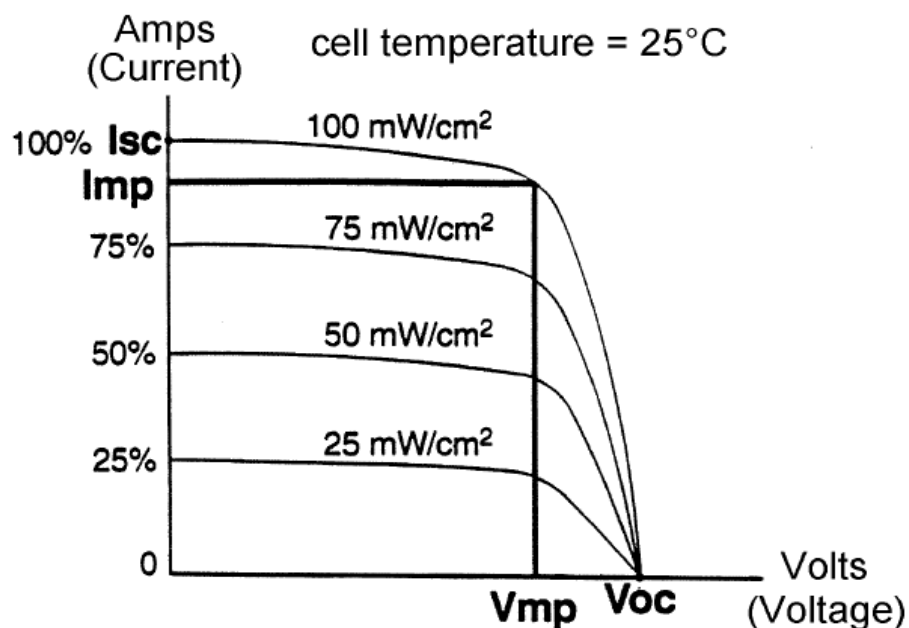


Figura 2.6 – Intensidade de luminosidade em relação a I/V
Fonte: ELETRONICA VENETA SPA. Absorption Refrigeration Trainer.

As ligações dos painéis podem ser feita de acordo com a necessidade especificada no projeto, sendo ligado, circuito em paralelo ou série. Tendo que a ligação em paralelo se mantém a tensão nominal de um painel e se soma as correntes de todos os painéis, já a ligação em série a corrente que alimenta o circuito todo é a mesma, e a tensão de cada painel é somada.



Figura 2.7 – Painel fotovoltaico alimentando um controlador
Fonte: windpowerbrasil.blogspot.com.

Como já dito, a intensidade luminosa nos painéis não são constantes, por isso sua potência elétrica de saída não será constante, o controlador solar tem como finalidade, absorver essa variação de carga oriunda das placas e linearizar uma saída de 12V corrente contínua, como visto na Fig. 2.7, para alimentação de uma bateria, assim fornecendo uma carga constante para qualquer que seja a finalidade.

2.5.2 Gás GLP

O Gás Liquefeito de petróleo (GLP) como é chamado, é o gás utilizado em fogões usualmente por todo mundo, derivado de um subproduto do petróleo, é composto basicamente por uma mistura de gases hidrocarbonetos, mistura de propano com o butano.

Se armazenado em botijões a uma pressão que varia em torno de 6 à 8 atm seu estado físico é líquido, e ao ser retirado e exposto a uma pressão de 1 atm sua propriedade varia para estado gasoso, a Fig. 2.8 mostra um exemplo de um botijão de gás.

O GLP é considerado um gás altamente inflamável, com essa característica, é geralmente utilizado em geradores para fornecer calor ao sistema. O botijão ligado a uma mangueira, onde esta conecta em um bocal de chama, libera o gás para que o aquecimento da SR seja feito, para que o efeito de refrigeração seja feito. Os métodos de centelha para ignição da chama podem ser feitas de algumas maneiras, manualmente com o auxílio de um fósforo ou isqueiro, ou até mesmo em caso de bancadas didáticas ou sistemas industriais eletricamente, com uma vela ou por uma ignição piezoelétrica.



Figura 2.8 – Botijão de gás
Fonte: frigocentral.wordpress.com.

2.5.3 Energia Elétrica

Nos dias de hoje, não se pode imaginar a humanidade sem energia elétrica, ela pode ser gerada de várias maneiras, sendo algumas: usinas termoelétricas, usinas hidroelétricas, usinas eólicas e através da energia solar. Tendo todas essas, o princípio de produção em geral é apenas um, criar uma diferença de potencial, obtendo assim uma corrente elétrica. Todo equipamento eletroeletrônico necessita de energia elétrica para seu funcionamento, empresas especializadas e licenciadas geram e fornece essa energia às casas e indústrias de todo mundo.

Introduzindo o conceito da eletricidade na absorção, ela tem o princípio de aquecimento de resistências elétricas existentes dentro do gerador, para o aquecimento da mistura. A resistência elétrica é composta por um filamento de um metal condutor, quando uma corrente atravessa esse filamento um calor alto é dissipado para o ambiente. A energia é distribuída no Brasil a níveis de domicílio, de duas maneiras: 127V e 220V de tensão, ambas com frequência de 60Hz. Para bancadas de nível didático (apenas aplicações em pequena escala) e utilizado a tensão de 127V, porque a resistência existente no gerador não requer uma tensão tão elevada.



Figura 2.9 – Exemplo de resistor elétrico
Fonte: flickr.com.

2.6 REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA

Os sistemas de absorção têm atraído muito interesse na área de refrigeração e de aplicações de ar condicionado (TONGU et al., 1994). A vantagem do uso de sistemas de absorção sobre o convencional sistema de compressão é que, o primeiro pode fazer uso de calor disponível na indústria, energia solar, naturais, gás e etc. (SUN. 1996). Outras vantagens incluem a utilização de fluidos ambientais amigáveis para fluido de trabalho, tais como NH_3 e H_2O e H_2O e LiBr (brometo de lítio) (KANG et al., 2000), tendo que seus fluidos de trabalho satisfazem o protocolo de Montreal sobre destruição da camada de ozônio, e o Protocolo de Quioto sobre o aquecimento global.

O ciclo de absorção contínua detém dos mesmos componentes básicos que o ciclo de absorção comum; gerador, evaporador, condensador e absorvedor, como vestem na Fig. 2.10 só não obtém uma bomba de recalque de SR, do absorvedor para o gerador como empregado no ciclo de absorção tradicional. Esse transporte é feito a partir do hidrogênio, adotando o princípio de Dalton.

Durante a evaporação, a amônia retira calor do compartimento de refrigeração. Este vapor de amônia que sai do gerador, através do aquecimento do fluido água-amônia, se mistura com o hidrogênio que estava no evaporador, e desce para o topo do absorvedor onde essa mistura hidrogênio-vapor de amônia se mistura com a solução SF vinda do separador, e então essa solução absorve o vapor de amônia, tendo que o hidrogênio não se mistura com a água e possui uma densidade menor que o ar, ele sobe para o evaporador e recomeça o ciclo novamente.

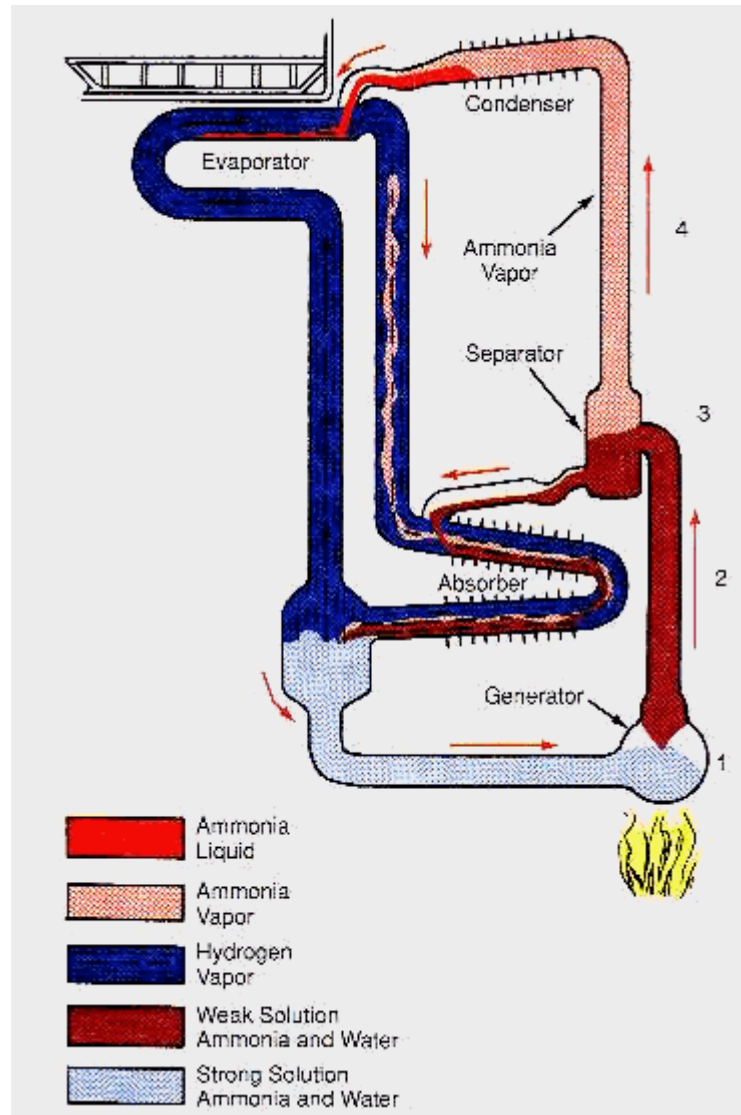


Figura 2.10 – Ciclo de refrigeração por absorção contínua
 Fonte: (fem.unicamp.br/.../Absorcao).

A Fig. 2.11 transcreve o ciclo de absorção contínua com enumeração de entradas do sistema.

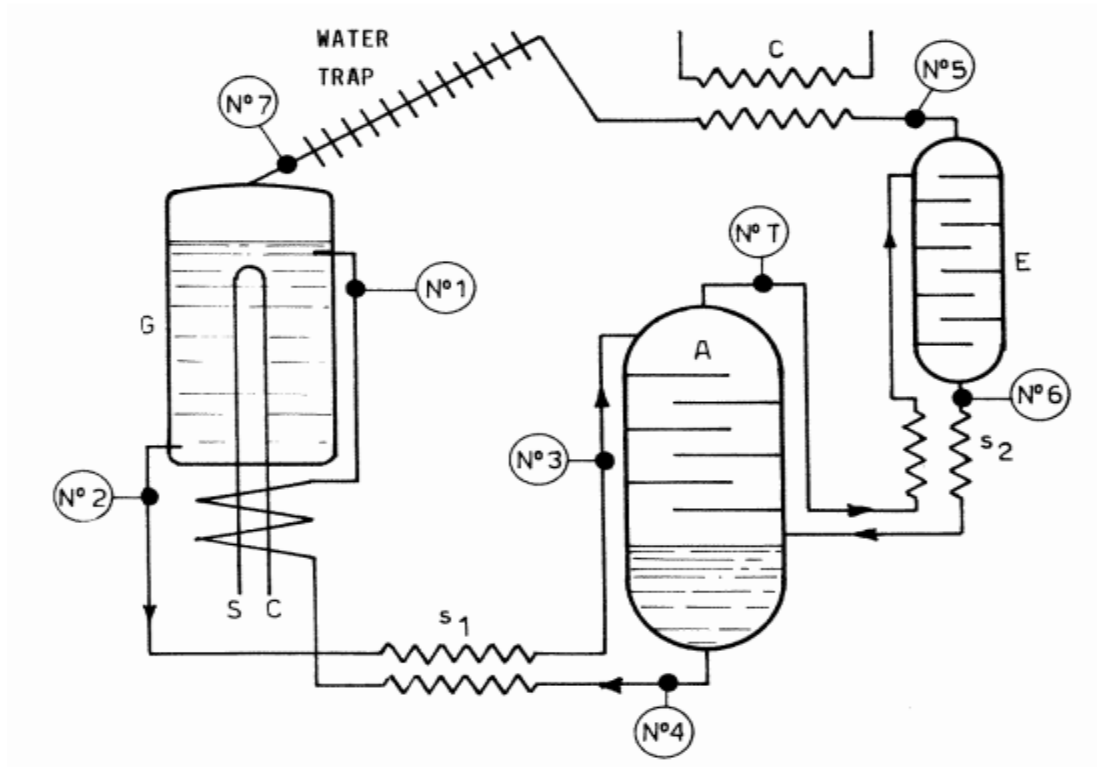


Figura 2.11 – Diagrama de sistema de absorção contínua
Fonte: (Veneta/ Sistema Electrolux).

SC – Fonte quente

S_{1,2} – Permutador de soluções

E – Evaporador

A – Absorvedor

G – Gerador

C – Condensador

T – Conexão de retorno do hidrogênio

Nº 1 – Entrada de SR no gerador

Nº 2 – Saída de SF do gerador

Nº 3 – Entrada de SF no absorvedor

Nº 4 – Saída do absorvedor de SR

Nº 5 – Saída do condensador, entrada evaporador

Nº 6 – Saída da solução do evaporador

Nº 7 – Saída de solução concentrada do gerador

2.6.1 Solução água-amônia-hidrogênio

A amônia possui uma grande afinidade com a água, no absorvedor elas se misturam formando uma mistura puramente homogênea. A NH_3 por ser muito mais volátil que a água se evapora com uma temperatura muito menor que a água, para uma mesma pressão.

Uma vez que o refrigerante vaporiza a uma temperatura muito mais baixa do que a água, uma percentagem elevada do vapor refrigerante e uma pequena quantidade de vapor de água sobem para a parte superior do gerador. Por exemplo, a uma saturação arbitrária pressão de 2,000 kPa, a amônia ferve a 49,6 ° C, enquanto a água ferve a 212,4 ° C. o restante solução (solução fraca) tende para se deslocarem para a parte inferior do gerador (JOSE A. MARINQUE., 1991).

A solução de amônia possui muitas características, como, pressão temperatura, concentração entalpia volumes específicos entre outros, as tabelas e gráficos a seguir mostram essa variação e suas entalpias que variam em função da pressão respectivamente.

A Tabela 2.1 mostra os valores das pressões parciais, para valores de concentração molar de amoníaco nas soluções, em porcentagens.

Tabela 2.1 – Pressões parciais em (libras por polegada quadrada absoluta) de H₂O ao longo de soluções aquosas de NH₃

t, °F	Molal concentration of ammonia in the solutions in percentages (Weight concentration of ammonia in the solution in percentages)																			
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
32	0.09	0.084	0.079	0.074	0.070	0.065	0.060	0.056	0.051	0.047	0.042	0.038	0.034	0.030	0.025	0.021	0.017	0.013	0.008	0.004
40	.12	.115	.108	.101	.095	.089	.083	.076	.070	.064	.058	.052	.046	.040	.035	.029	.023	.015	.012	.006
50	.18	.17	.16	.15	.14	.13	.12	.11	.10	.094	.085	.076	.068	.059	.051	.042	.034	.025	.017	.008
60	.26	.24	.23	.21	.20	.19	.17	.16	.15	.13	.12	.11	.097	.085	.073	.061	.049	.037	.024	.012
70	.36	.34	.32	.30	.28	.26	.25	.23	.21	.19	.17	.15	.14	.12	.10	.086	.069	.052	.034	.017
80	.51	.48	.45	.42	.40	.37	.34	.32	.29	.27	.24	.22	.19	.17	.14	.12	.096	.072	.048	.024
90	.70	.66	.63	.58	.55	.51	.47	.44	.40	.37	.33	.30	.26	.23	.20	.16	.13	.10	.066	.033
100	.95	.90	.85	.79	.74	.69	.64	.59	.55	.50	.45	.41	.36	.31	.27	.22	.18	.13	.090	.045
110	1.27	1.20	1.14	1.07	1.00	.93	.86	.80	.73	.67	.60	.54	.48	.42	.36	.30	.24	.18	.120	.061
120	1.69	1.60	1.51	1.42	1.33	1.24	1.15	1.06	.97	.89	.80	.72	.64	.56	.48	.40	.32	.24	.160	.081
130	2.22	2.10	1.98	1.86	1.74	1.62	1.51	1.39	1.28	1.17	1.05	.95	.84	.74	.63	.53	.42	.32	.210	.100
140	2.89	2.73	2.57	2.42	2.26	2.11	1.96	1.81	1.66	1.52	1.37	1.23	1.10	.96	.82	.69	.55	.41	.270	.140
150	3.72	3.51	3.31	3.11	2.91	2.72	2.52	2.33	2.14	1.95	1.76	1.59	1.41	1.24	1.06	.88	.71	.53	.350	.180
160	4.74	4.48	4.22	3.97	3.71	3.46	3.22	2.97	2.73	2.49	2.25	2.02	1.80	1.58	1.35	1.12	.90	.67	.450	.220
170	5.99	5.66	5.34	5.02	4.70	4.38	4.07	3.75	3.45	3.15	2.84	2.56	2.28	1.99	1.71	1.42	1.13	1.85	.570	.300
180	7.51	7.10	6.69	6.30	5.89	5.49	5.10	4.71	4.33	3.94	3.57	3.21	2.85	2.50	2.14	1.77	1.42	1.06		
190	9.34	8.83	8.32	7.82	7.32	6.83	6.34	5.86	5.38	4.91	4.44	3.99	3.55	3.10	2.65					
200	11.53	10.90	10.27	9.65	9.04	8.43	7.83	7.23	6.64	6.06	5.48	4.93	4.38	3.81						
210	14.12	13.35	12.58	11.82	11.07	10.32	9.59	8.86	8.13	7.42	6.71	6.04	5.34							
220	17.19	16.25	15.32	14.39	13.48	12.57	11.67	10.78	9.90	9.03	8.17	7.31								
230	20.78	19.64	18.51	17.40	16.29	15.19	14.11	13.03	11.97	10.91	9.87									
240	24.97	23.60	22.25	20.91	19.58	18.26	16.95	15.66	14.38	13.12	11.86									
250	29.83	28.20	26.58	25.00	23.39	21.82	20.25	18.71	17.18	15.67										

Fonte: Wilson, Univ. Ill., Eng. Expt. Sta. Bull. 146 (Perry e Green 1999).

A Tab. 2.2 retrata as características da amônia saturada em função da temperatura.

Tabela 2.2 – Amônia Saturada

T, K	P, bar	$v_f, m^3/kg$	$v_g, m^3/kg$	$h_f, kJ/kg$	$h_g, kJ/kg$	$s_f, kJ/(kg \cdot K)$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$c_{pf}, kJ/(kg \cdot K)$	$\mu_f, 10^{-4} Pa \cdot s$	$k_f, W/(m \cdot K)$
195,5 ^f	0.0608	1.327.-3	15.648	-1110.1	380.1	4.203	11.827	4.73	4.25	0.715
200	0.0865	1.372.-3	11.237	-1088.8	388.5	4.311	11.698	4.61	4.07	0.709
210	0.1775	1.394.-3	5.729	-1044.1	406.7	4.529	11.438	4.38	3.69	0.685
220	0.3381	1.417.-3	3.135	-1000.6	424.1	4.731	11.207	4.35	3.34	0.661
230	0.6044	1.442.-3	1.822	-957.0	440.7	4.925	11.002	4.38	3.02	0.638
240	1.0226	1.468.-3	1.115	-912.9	456.2	5.113	10.817	4.43	2.73	0.615
250	1.6496	1.495.-3	0.712	-868.2	470.6	5.294	10.650	4.48	2.45	0.592
260	2.5529	1.524.-3	0.472	-823.1	483.8	5.471	10.498	4.54	2.20	0.569
270	3.8100	1.551.-3	0.324	-777.3	495.6	5.643	10.358	4.60	1.97	0.546
280	5.5077	1.589.-3	0.228	-730.9	506.0	5.811	10.228	4.66	1.76	0.523
290	7.741	1.626.-3	0.165	-683.8	514.7	5.975	10.108	4.73	1.58	0.500
300	10.61	1.666.-3	0.121	-636.0	521.5	6.135	9.994	4.82	1.41	0.477
310	14.24	1.710.-3	0.091	-587.2	526.1	6.293	9.885	4.91	1.26	0.454
320	18.72	1.760.-3	0.069	-537.5	528.2	6.448	9.779	5.02	1.13	0.431
330	24.20	1.815.-3	0.053	-486.7	527.5	6.602	9.675	5.17	1.02	0.408
340	30.79	1.878.-3	0.0410	-434.3	523.3	6.755	9.571	5.37	0.92	0.385
350	38.64	1.952.-3	0.0319	-380.0	515.1	6.908	9.465	5.64	0.83	0.361
360	47.90	2.039.-3	0.0249	-323.2	501.8	7.063	9.354	6.04	0.75	0.337
370	58.74	2.148.-3	0.0194	-262.6	481.9	7.222	9.235	6.68	0.69	0.313
380	71.35	2.291.-3	0.0149	-196.5	452.7	7.391	9.100	7.80	0.61	0.286
390	85.98	2.499.-3	0.0113	-120.9	408.1	7.578	8.935	10.3	0.50	0.254
400	103.0	2.882.-3	0.0077	-23.5	329.0	7.813	8.694	21.	0.39	0.21
405,4 ^f	113.0	4.255.-3	0.0043	142.7	142.7	8.216	8.216	∞	0.25	∞

Fonte: Perry e Green (1999).

2.6.2 Lei de Dalton

A lei de Dalton determina que se dois ou mais gases ocupe um sistema, a pressão total exercida por estes gases é a soma da pressão parcial de cada gás, como se cada gás ocupasse sozinho o sistema. Desta forma a pressão do Gerador, Absorvedor e Condensador é semelhante à pressão total do Evaporador e Absorvedor, só que nestes a pressão é exercida pelo soma das pressões parciais do Hidrogênio e Amônia (GERNER, VALTER RUBENS, 1981).

O hidrogênio por não possuir afinidade molecular com a água por isso fica livre da ação da mesma. Após a entrada no absorvedor de uma mistura de água-amônia-hidrogênio, no absorvedor a amônia se dilui com a água, e o hidrogênio fica livre para voltar ao evaporador onde se recomeça o ciclo.

Para três tipos distintos de gases em um mesmo sistema, no caso, X, Y e Z, onde n_x , n_y e n_z são o numero de mols partículas do gás, a Eq. 2.1, de Claperyon para gases ideais, mostra que se quando somado todas as pressões parciais dos gases presentes no sistema se obtém uma pressão total do mesmo, e que, a soma

do número de mols de cada substância resulta em um número de moléculas total da mistura.

$$(P_X + P_Y + P_Z) \cdot V = (n_X + n_Y + n_Z) \cdot R \cdot T \quad (2.1)$$

$$P_{TOTAL} \cdot V = n_{TOTAL} \cdot R \cdot T$$

Observando que, R (constante universal dos gases perfeitos) e T (temperatura do sistema) são constantes para todos os gases.

2.7 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA SISTEMAS DE ABSORÇÃO CONTÍNUA DE AMÔNIA

O princípio básico para entendimento do balanço de massa e energia nos equipamentos de refrigeração é regido através da teoria em que, nenhuma energia é criada ou perdida, mas sim, transformada. A mesma quantidade de massa que entra em um determinado equipamento deve sair, assim como a energia de entalpia. Por isso o balanço da massa e energia é dado pela soma desse balanço em cada equipamento, sendo eles: gerador, evaporador, condensador e absorvedor. O balanço de energia para o sistema sempre será o mesmo para qualquer ciclo de absorção contínua, os índices utilizados para temperatura, vazão mássica e energia de entalpia variam de acordo com o esquema montado. Os balanços que serão feitos estão embasados nos índices descritos em uma bancada didática de refrigeração por absorção contínua de amônia como mostrado na Fig. 2.12, localizado na UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) Campus - Cornélio Procópio.

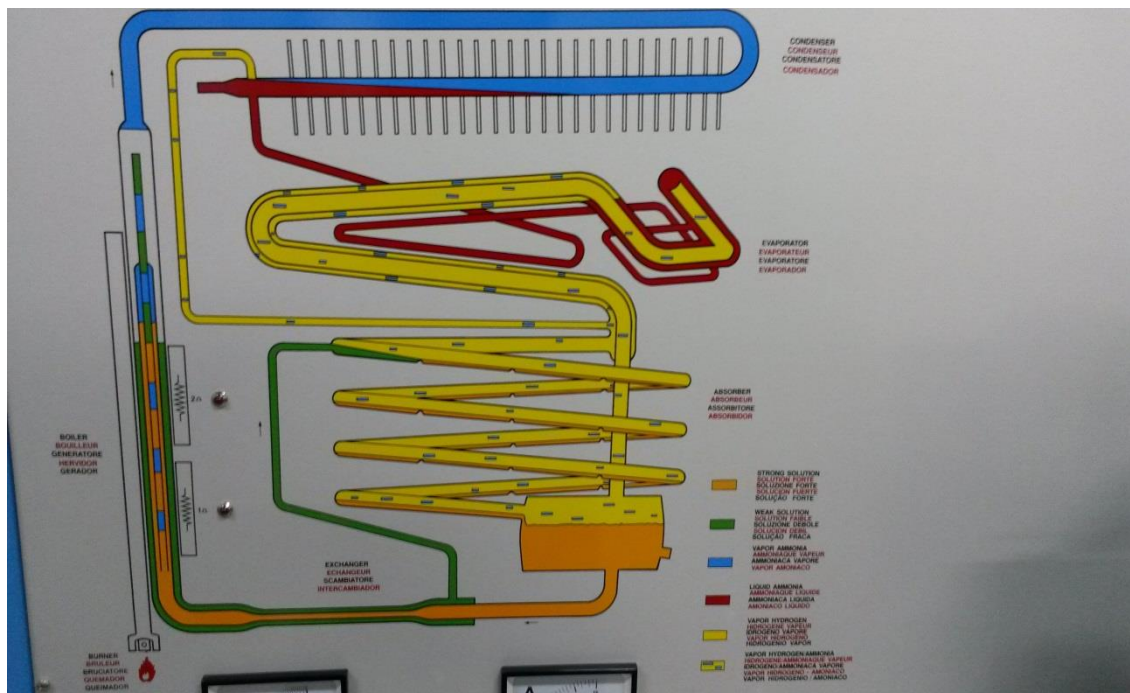


Figura 2.12 – Esquema de funcionamento, bancada de refrigeração
Fonte: Própria Autoria.

2.7.1 Concentração em massa

A concentração em massa de uma mistura se trata da quantidade em porcentagem do soluto ou solvente presente na mistura, uma vez que, a SR é uma solução de água + amônia, onde o soluto é a amônia e o solvente é água. Para uma determinada massa m (massa total do sistema), e m_1 (massa do soluto NH_3) e m_2 (massa da água H_2O) tem-se o m do sistema pela Eq. 2.2, para um balanço de massa no gerador tem-se a x (concentração em massa) pela Eq. 2.3.

$$m = m_1 + m_2 \quad (2.2)$$

$$x = \frac{m_1}{m} \quad (2.3)$$

Na refrigeração o valor da concentração representa a quantidade de amônia presente na solução, é verificada a concentração (o quão puro a substância é em amônia) que sai do gerador em sentido ao condensador.

2.7.2 Balanço de massa e energia no gerador

A massa que entra no gerador é igual à massa que sai do mesmo. Uma massa \dot{m}_6 (massa da solução rica) entra no gerador junto com uma massa de água $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$, e na saída do gerador uma massa de solução pobre \dot{m}_5 e a massa de vapor de NH_3 que segue ao condensador, temos assim:

$$\dot{m}_6 + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{m}_5 + \dot{m}_c \quad (2.4)$$

$$\dot{m}_6 \cdot x_6 + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot x_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{m}_5 \cdot x_5 + \dot{m}_c \cdot x_c \quad (2.5)$$

As concentrações x_6 e x_5 equivalem respectivamente às concentrações ricas em amônia e pobres em amônia. O x_c representa a concentração em massa de amônia que sai do gerador e \dot{m}_c sua respectiva massa. A Eq. 2.6 mostram que a vazão mássica que entra \dot{m}_7 no condensador, e que sai \dot{m}_8 , é igual ao produto da concentração em massa e sua massa.

$$\dot{m}_c \cdot x_c = \dot{m}_7 \quad (2.6)$$

Através da Eq. 2.5 e Eq. 2.6 conseguimos equacionar um balanço de energia para o gerador Eq. 2.7, considerando suas entalpias.

$$\dot{m}_6 \cdot h_6 + \dot{m}_{H_2O} \cdot h_{H_2O} + \dot{Q}_g = \dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{m}_c \cdot h_c \quad (2.7)$$

2.7.3 Balanço de massa e energia no condensador

A vazão mássica que entra no condensador é a mesma que sai do gerador, como ele possui apenas uma entrada e uma saída, igual também será a vazão mássica na saída do gerador, como descreve a Eq. 2.8.

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (2.8)$$

$$\dot{m}_6 \cdot h_6 = \dot{m}_7 \cdot h_7 + \dot{Q}_{cond}. \quad (2.9)$$

A Eq. 2.9 descreve que o condensador transfere energia $\dot{Q}_{cond.}$ para o ambiente, quando torna o gás de amônia em liquefeito.

2.7.4 Balanço de massa e energia no evaporador

O evaporador tem como finalidade retirar o calor \dot{Q}_e do ambiente e transferir para o sistema, assim como o condensador possui apenas uma entrada e uma saída, resulta na Eq. 2.10.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_9 \quad (2.10)$$

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{Q}_e = \dot{m}_9 \cdot h_9 \quad (2.11)$$

2.7.5 Balanço de massa e energia no absorvedor

O absorvedor tem a finalidade de homogeneizar a mistura água e amônia que chegam do retorno da SF do gerador, e da saída do evaporador, transformando a nova mistura em SR, para que o ciclo continue. A Eq. 2.12 e Eq. 2.13 representam o balanço de massa.

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (2.12)$$

$$\dot{m}_5 \cdot x_5 + \dot{m}_3 \cdot x_3 = \dot{m}_4 \cdot x_4 \quad (2.13)$$

A energia em forma de calor \dot{Q}_a no absorvedor flui do sistema para o ambiente, pela Eq. 2.14 conseguimos verificar essa energia.

$$\dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{Q}_a \quad (2.14)$$

Uma vez que x_3 é igual à concentração em massa de SR, x_4 equivale à concentração em massa de SF e x_9 igual a 100% solução de amônia.

2.7.6 Balando de massa e energia no retificador.

No retificador entra a solução de concentração de amônia e sai a \dot{m}_7 e \dot{m}_{H_2O} , temos assim:

$$\dot{m}_c = \dot{m}_5 + \dot{m}_{H_2O} \quad (2.15)$$

Sendo assim o balanço de energia no retificador se dá:

$$\dot{m}_c \cdot h_c = \dot{m}_9 \cdot h_9 + \dot{m}_{H_2O} \cdot h_{H_2O} + \dot{Q}_r \quad (2.16)$$

A partir dessas equações temos o balanço geral de energia, pela Eq. 2.17.

$$\sum_{i=0}^n \mathbf{E}_{i-entra} = \sum_{j=0}^m \mathbf{E}_{j-sai} \quad (2.17)$$

A eficiência de um ciclo de refrigeração por absorção contínua de amônia é dado pelo COP (Coeficiente de Performance), sendo ele, a razão entre a variação entálpica do evaporador pelo gerador, como o COP é um adimensional é visualizado em forma de porcentagem, o quão se mostra a eficiência do ciclo. A Eq. 2.18 demonstra essa razão.

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} \quad (2.18)$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo iremos demonstrar os equipamentos e funcionamento dos materiais empregados na bancada, Fig. 3.1 e alguns passos para execução e retirada de dados da mesma, e aplicações em tabelas e gráficos a fim de se calcular as energias do sistema em cada equipamento da bancada, assim calculando a eficiência do ciclo (COP) para partidas distintas do gerador.



Figura 3.1 – Bancada didática de absorção de amônia
Fonte: Própria autoria.

Essa bancada foi adquirida com recurso da UTFPR – Campus: Cornélio Procópio, para fins didáticos dos alunos do curso de graduação em Engenharia Mecânica. A Tabela 3.1 mostra os dados específicos da bancada.

Tabela – 3.1 Dados específicos da bancada

Modelo	Numero de série	Tensão de trabalho	Frequência	Potência máxima	Fabricante
TAR/EV	08.01.09487	110V	60Hz	300W	Elettronica V. S.p.A

Fonte: Própria Autoria.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Chaves de Ligações

Para uma partida correta do sistema é necessário que as entradas de energia e chaves estejam ligadas de maneira correta, para um melhor funcionamento da bancada. A Tabela 3.2 traz as chaves e entradas a serem ligadas e desligadas para os três tipos de partidas distintas.

Tabela 3.2 – Ligações das Partidas

CHAVES	ELÉTRICA	FOTOVOLTAICA	GÁS
CHAVE 1	OFF	ON	OFF
CHAVE 2	OFF	OFF	OFF
CHAVE 3	ON	OFF	ON
CHAVE 4	ON	ON	OFF
CHAVE 5	12V D.C	Alim. Fotovoltaico	12V D.C
CHAVE 6	2Ω	1Ω	1Ω
CHAVE 7	Alim. Rede	12V D.C	12V D.C
ENTRADA 1	NÃO	SIM	NÃO
ENTRADA 2	NÃO	NÃO	NÃO
ENTRADA 3	SIM	NÃO	NÃO
IGNIÇÃO	OFF	OFF	SIM

Fonte: Própria Autoria.

3.1.2 Eletricidade

A Bancada possui muitos componentes, na maioria deles elétricos. Na parte traseira existe um painel elétrico, Apêndice B, com suas respectivas ligações onde possui um diagrama elétrico dos componentes e ligações ali existentes como mostrado na Fig. 3.2.

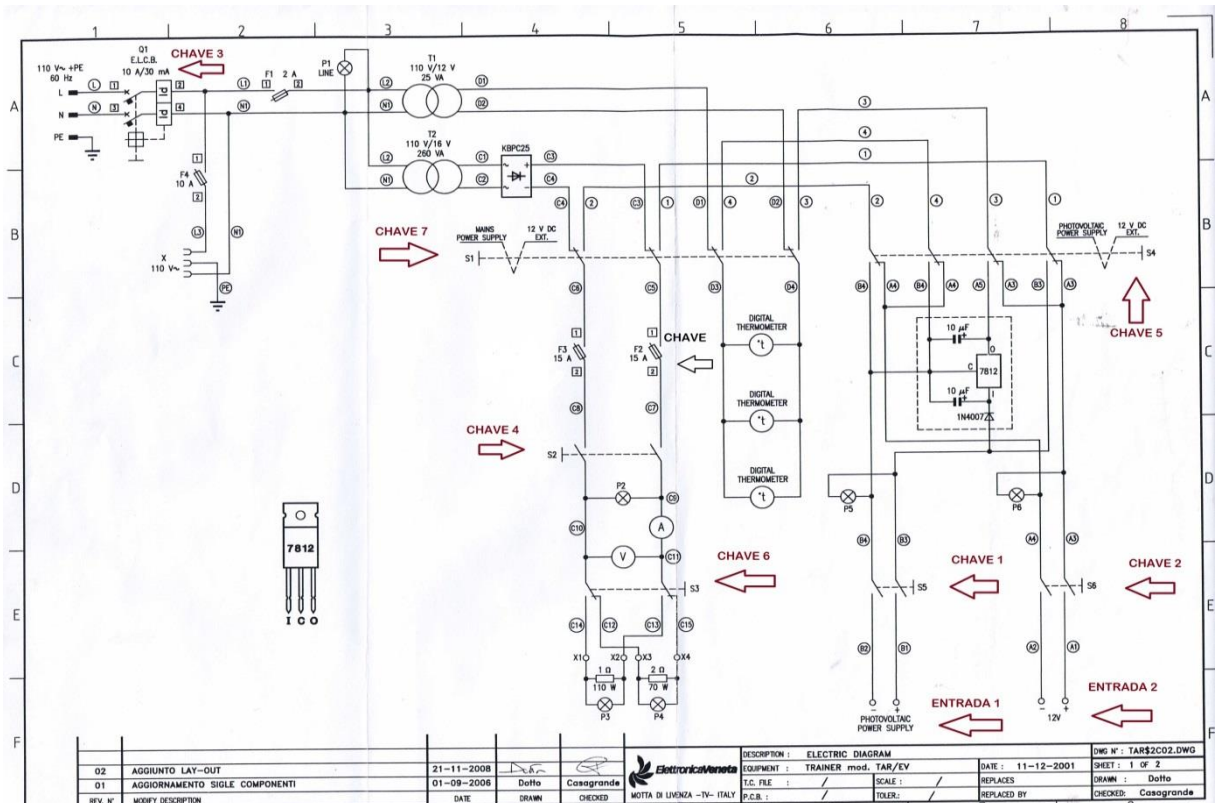


Figura 3.2 – Diagrama elétrico da bancada
Fonte: Adaptado de ElettronicaVeneta.

A Fig. 3.2 fornece a identificação das chaves e entradas visíveis no painel no diagrama elétrico da bancada.

O painel de controle elétrico possui sete chaves, três entradas de energia e uma ignição piezoelétrica. No controle da potência que é fornecido para o sistema, a bancada conta com: um voltímetro e um amperímetro; para o controle de tensão e corrente respectivamente.

Os principais componentes elétricos visíveis no painel de controle da bancada estão listados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Lista de componentes elétricos da bancada

Componentes	Capacidade	Fabricante	Quantidade
Termômetro digital	(-100 a +600)°C	Lae Italy	3
Transmissor de temperatura	(-100 a +600)°C	Lae Italy	3
Voltímetro	(0 a 30)V	Veneta	1
Amperímetro	(0 a 15)V	Veneta	1

Fonte: Própria Autoria.

A Fig. 3.3 demonstra o layout interno onde estão mostrados todos componentes acima citados.

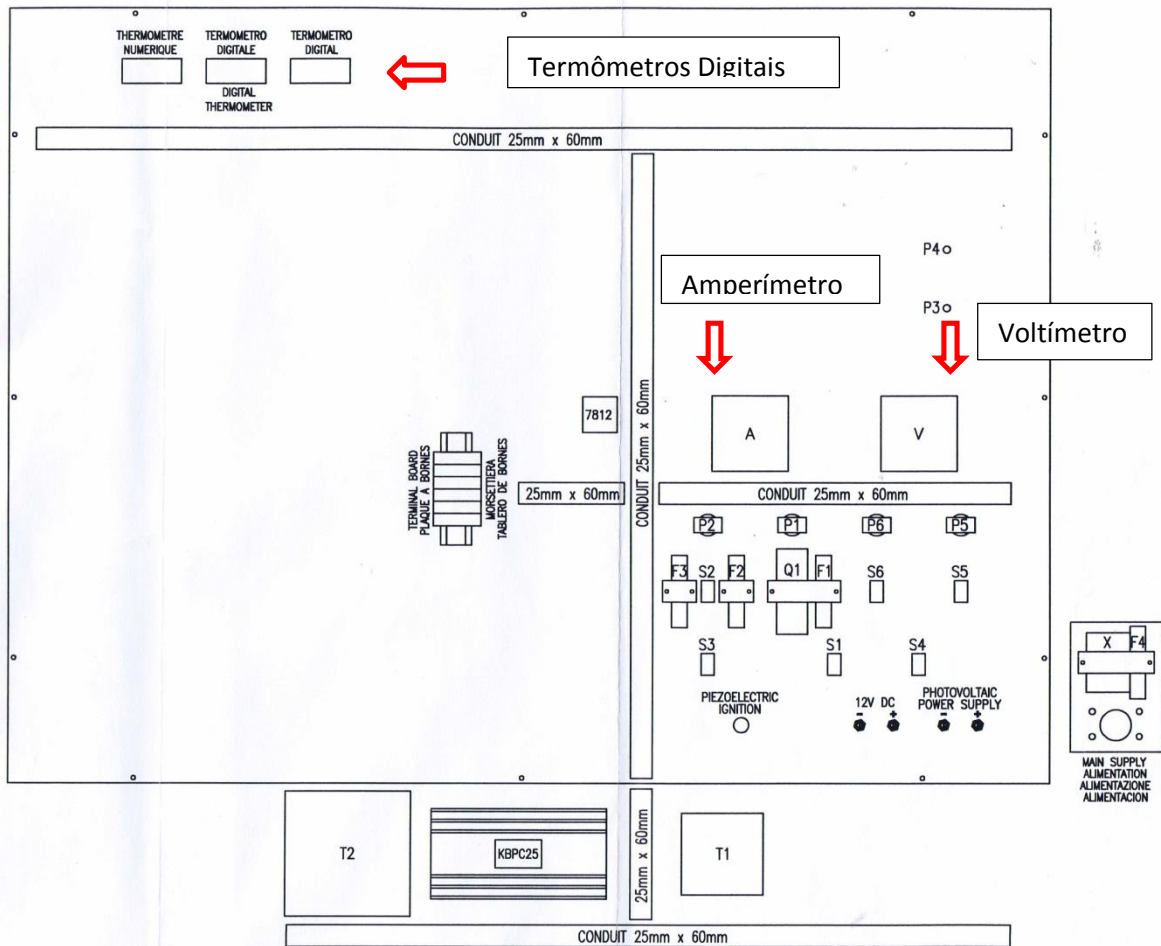


Figura 3.3 – Layout Interno
Fonte: ElettronicaVeneta.

3.1.3 Gás GLP

Os componentes que compõem o sistema de partida a gás são simples e são compostos apenas por: um botijão de 2 kg de gás GLP, uma mangueira com conexão para o botijão e uma botoeira reguladora de chama. Esse regulador funciona também como uma válvula de segurança e trabalha com três níveis diferentes de chamas Fig. 3.4, máxima, média e mínima.



Figura 3.4 – Regulador de chamas
Fonte: Própria Autoria.

3.1.4 Painéis fotovoltaicos

Para uma melhor eficiência dos painéis fotovoltaicos, eles foram ligados em paralelo através de cabos de 2,5mm, de espessura e pinos bananas (Pinos para engate na bancada). A saída do painel depois de feita a ligação em paralelo pode ser ligada direto à bancada ou alimentar o controlador de carga de bateria, onde a bateria Fig. 3.5 terá a função de fornecer a energia necessária ao gerador.



Figura 3.5 – Bateria 12V
Fonte: Própria Autoria.

A Tabela 3.4 lista os componentes necessários para a partida fotovoltaica, atentando-se ao controlador de carga e bateria, que não necessariamente precisam estar em uso para partida com os painéis.

Tabela 3.4 – Lista de materiais, painéis fotovoltaicos

Componentes	Capacidade	Fabricante	Quantidade
Painéis fotovoltaicos	60W, 3,94A e 17.2V	Suntech	5
Bateria	12V e 45A	Desconhecido	1
Controlador de carga	30A, Modelo TCS 30	Tunitron	1
Fios	2,5mm	Desconhecido	50m

Fonte: Própria Autoria.

Os painéis foram dispostos ao ambiente externo a fim de captar a maior incidência solar possível, como mostrado na Fig. 3.6, os fios foram levados do ambiente externo para o interior do laboratório, onde se encontra a bancada.

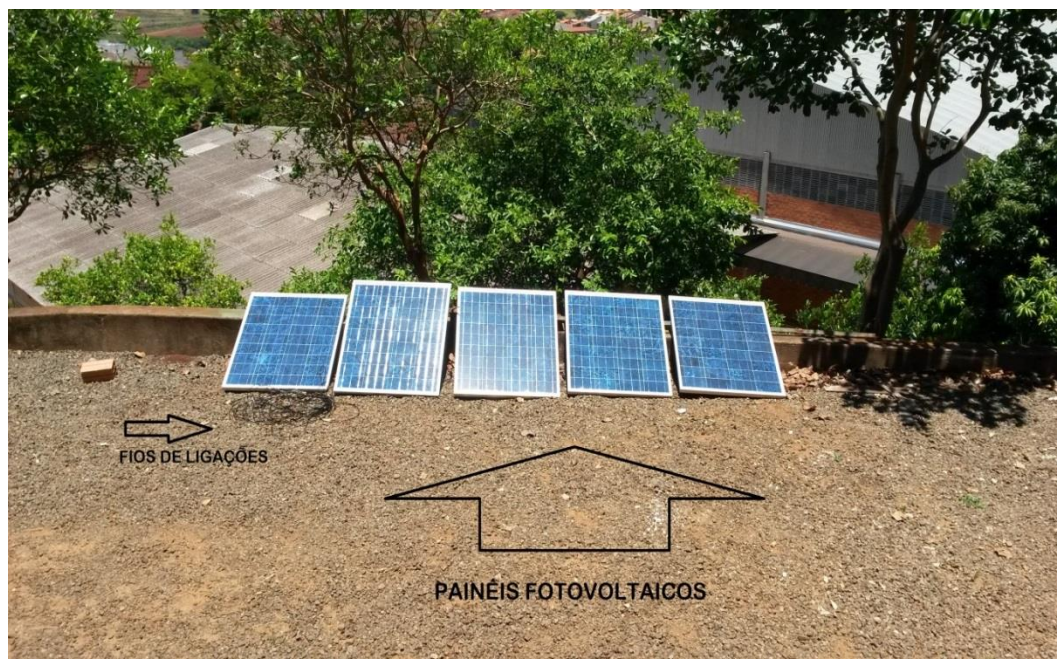


Figura 3.6 – Disposição dos painéis solares no ambiente externo
Fonte: Própria Autoria.

O controlador obtém três entradas e três saídas, sendo elas, mostradas na Fig. 3.7, de um controlador de cargas de bateria, e suas respectivas ligações.

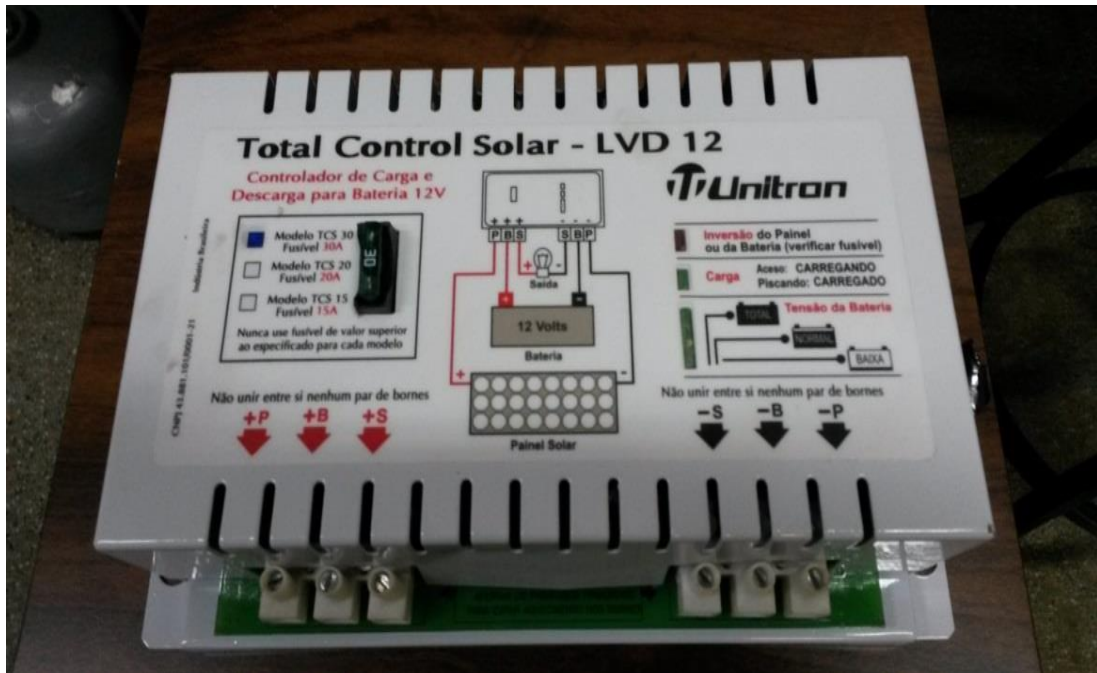


Figura 3.7 – Controlador de carga de bateria
Fonte: Própria Autoria.

O controlado de carga recebe a tensão não constante dos painéis, e à transforma em 12V contínua para que possa alimentar a bateria, assim sendo, a bateria alimentará de forma constante a bancada.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Cálculo das energias e COP.

As temperaturas são mensuradas através dos termômetros digitais, na bancada existem apenas três displays digitais, por isso, para obter as temperaturas é necessária uma variação dos pontos de verificação de temperatura, isso pode ser feito quando o sistema já estiver em equilíbrio, isto é, a temperatura no evaporador não irá variar mais. Os pontos onde são retiradas as temperaturas estão exemplificados em uma cartilha fixada na bancada como mostra o anexo C.

Uma vez retirada às temperaturas, verificamos as pressões de trabalho no qual o fluido está trabalhando para todos os pontos do sistema. Essas pressões são obtidas pelo Diagrama 3.1 em função do inverso da temperatura em K.

Essa verificação é feita traçando uma linha vertical até que atinja a linha da amônia no gráfico, o ponto correspondente no eixo das ordenas corresponde à pressão no ponto.

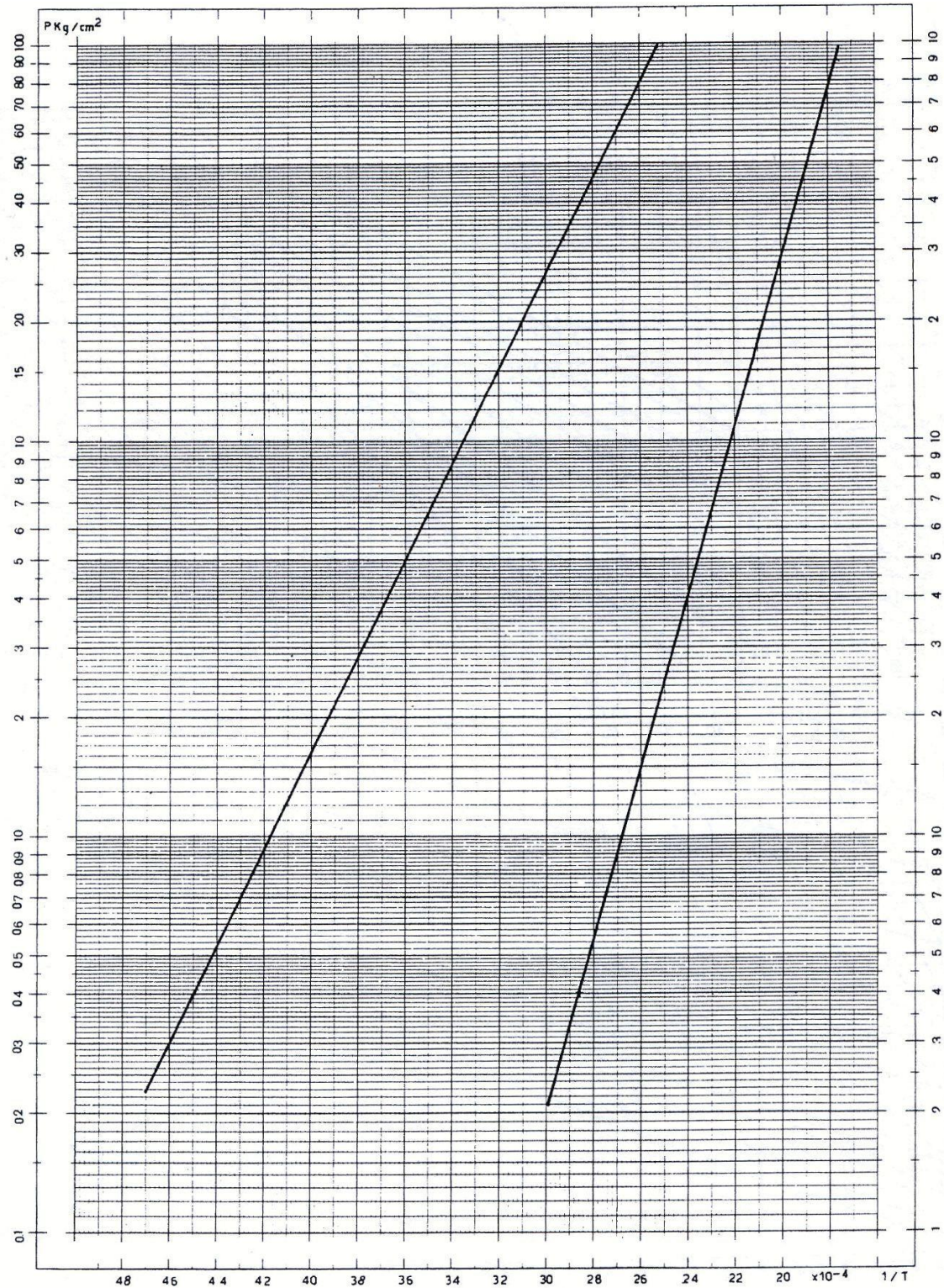


Diagrama 3.1 – Pressão X Recíproco da temperatura
Fonte: Absorption Refrigeration Trainer.

Quando as pressões nos respectivos pontos do sistema são determinadas, podemos então traçar no Diagrama. 3.2, com os valores da pressão e da temperatura, as concentrações de amônia presente nesses pontos. Com essas

concentrações conseguiremos determinar mais à frente a entalpia dos pontos que regem o sistema.

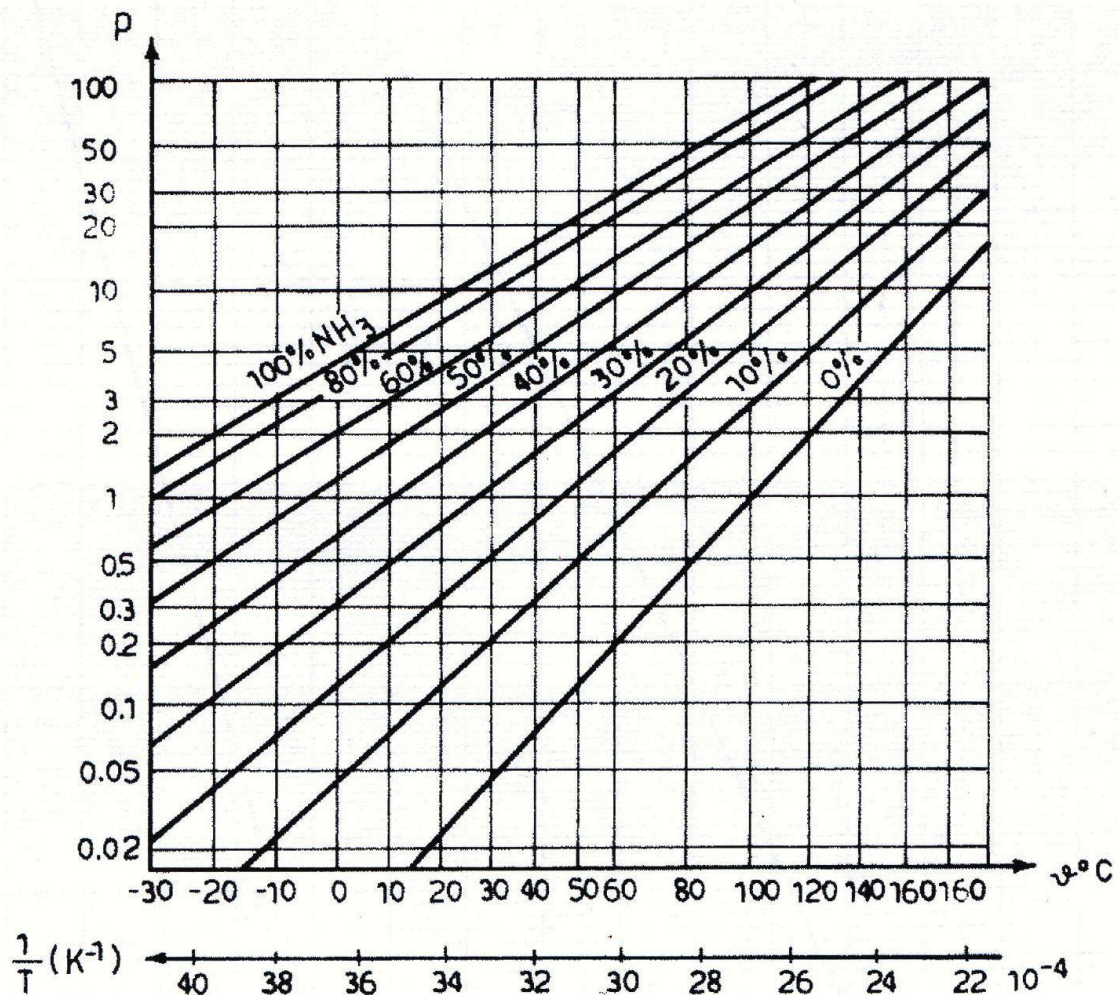


Diagrama 3.2 – Nível de concentração da solução
Fonte: Absorption Refrigeration Trainer.

Os níveis de concentração da solução variam de acordo com seu posicionamento dentro do sistema e seu estado físico. A solução que entra no condensador contém a maior concentração de amônia do sistema (Solução Rica), e a que sai e retorna ao absorvedor contém o menor nível de amônia em sua composição (Solução Pobre).

Para se obter as energias de trabalho dos componentes, é necessária a verificação das entalpias do sistema. O Gráfico 3.1 mostra a entalpia do ponto em função de sua concentração e pressão. Traçando uma linha vertical da concentração

de amônia até sua respectiva linha de pressão, obtemos no eixo das ordenadas os valores entálpicos dos pontos.

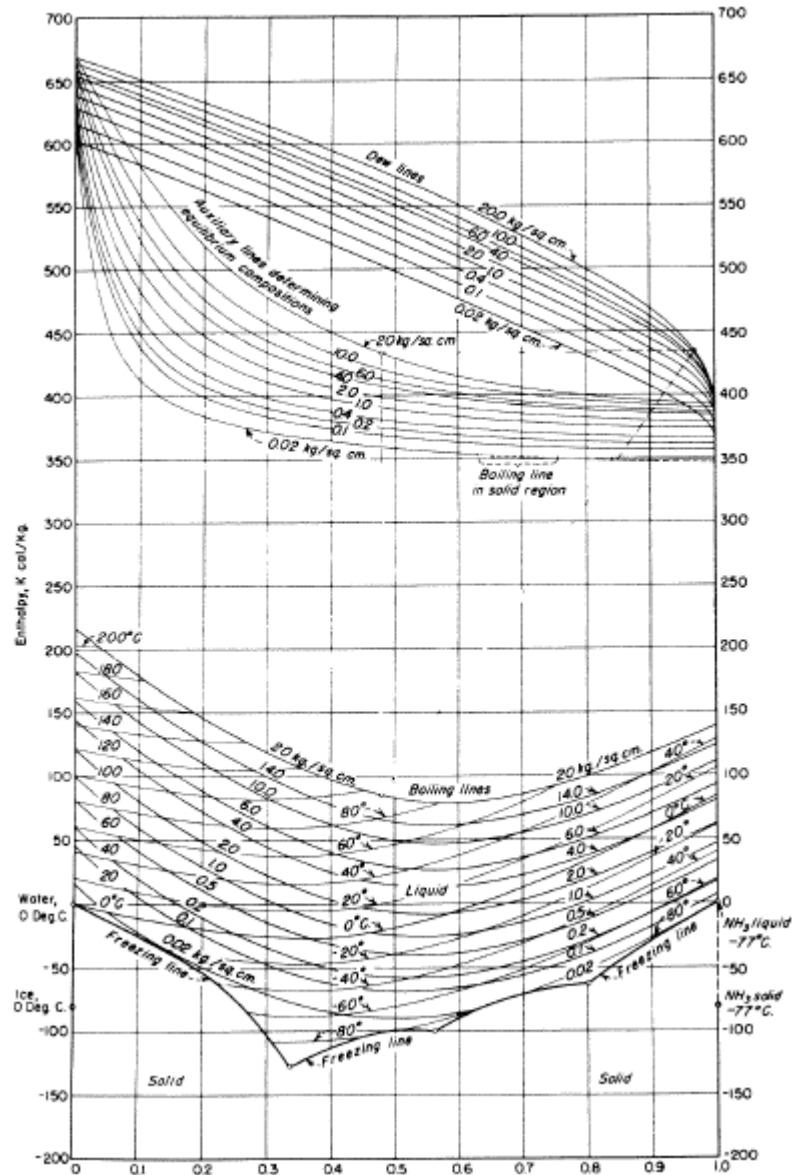


Gráfico 3.1 – Entalpia X Concentração
 Fonte: Elettronica Veneta SPA.

Uma vez estabelecida o balanço de massa em um volume de controle do sistema e suas respectivas concentrações, e retirado às entalpias através do Gráfico 3.1, utilizamos as Eq. (2.7, 2.9, 2.11, 2.14 e 2.16) para o cálculo das energias dos componentes.

Para o rendimento do ciclo, tomamos a razão entre o calor retirado pelo evaporador do sistema e o calor fornecido pelo gerador ao sistema. A Fig. 3.8 e Fig. 3.9 mostram o gerador e evaporador respectivamente, onde será feito o balanço termodinâmico para cálculo do COP.

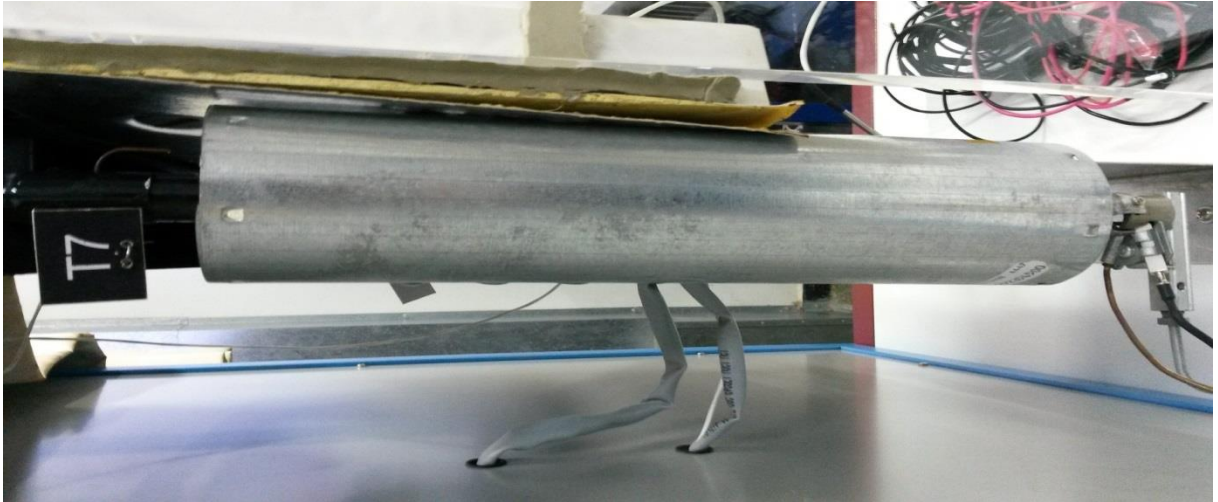


Figura 3.8 – Gerador da bancada de refrigeração
Fonte: Própria Autoria.

A câmara de acrílico que envolve o evaporador (tubo preto) como veste na Fig. 3.9, se trata de onde será retirado o calor do ambiente, assim sendo, irá trocar calor com o refrigerante do evaporador.

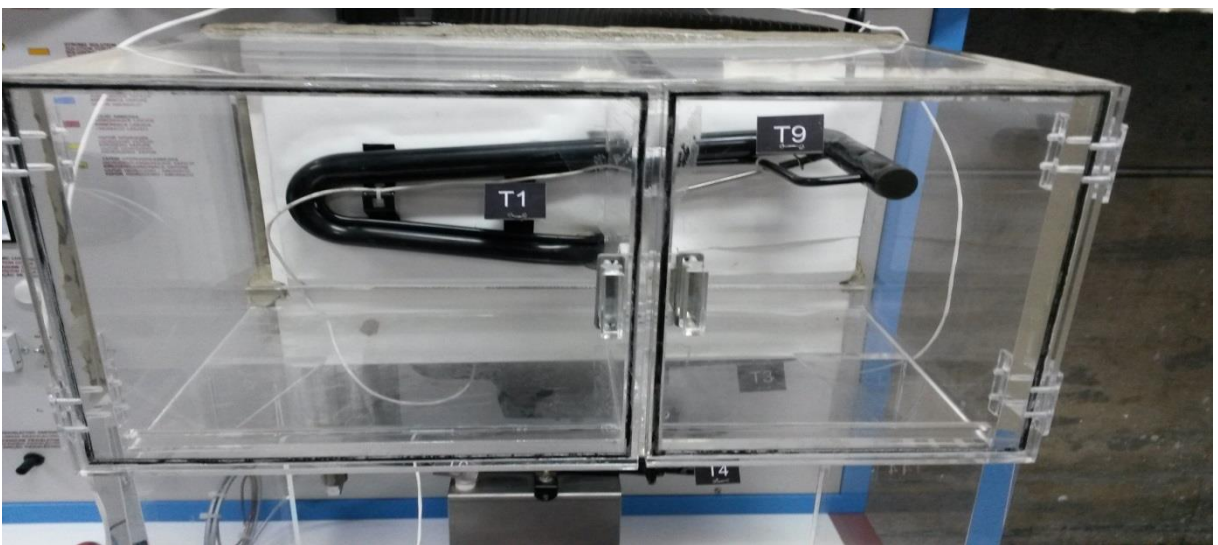


Figura 3.9 – Evaporador da bancada de refrigeração
Fonte: Própria Autoria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultados analisamos os Coeficientes de Performance para os três tipos de partidas indicando todos os dados utilizados para seu cálculo. Para uma vazão de amônia pura no evaporador de 1kg/s. O Diagrama 4.1 mostra o diagrama de vazão e de pontos da bancada de refrigeração, com seus respectivos equipamentos. Esses pontos são índices usados no equacionamento da bancada, sendo assim, por exemplo: ponto 5, m5 e h5, para todos os números.

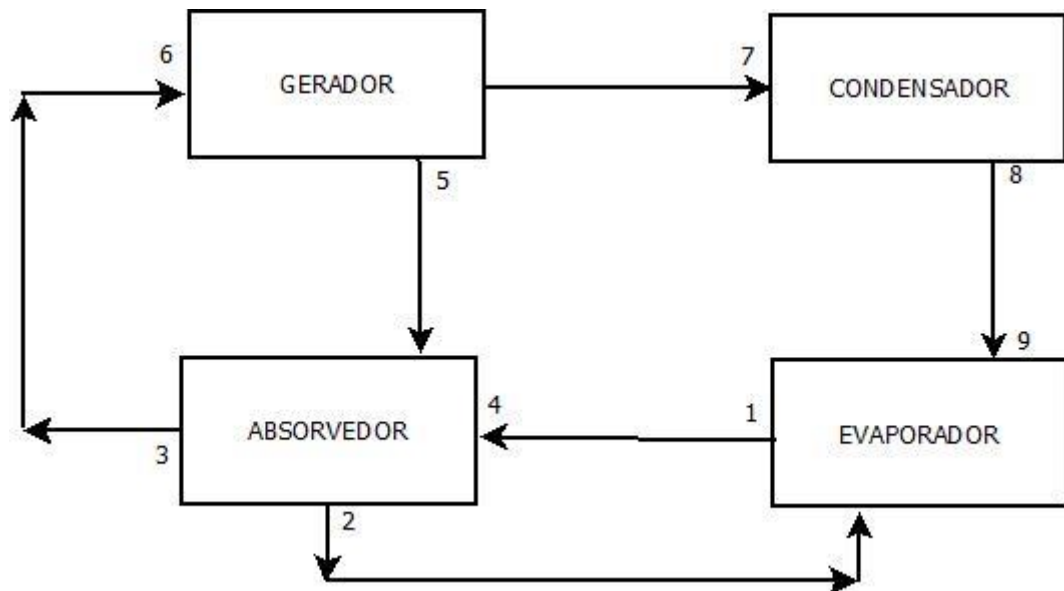


Diagrama 4.1 – Diagrama de blocos da bancada de refrigeração
 Fonte: Própria Autoria.

As linhas de pressões que foram obtidas durante os testes com os três tipos de partidas são mostradas no Diagrama 4.2.

Onde as linhas de pressões em azul representam as células fotovoltaicas, as traçadas em vermelho as pressões no ensaio de energia da rede, e as em amarelo as linhas para o ensaio com o gás GLP.

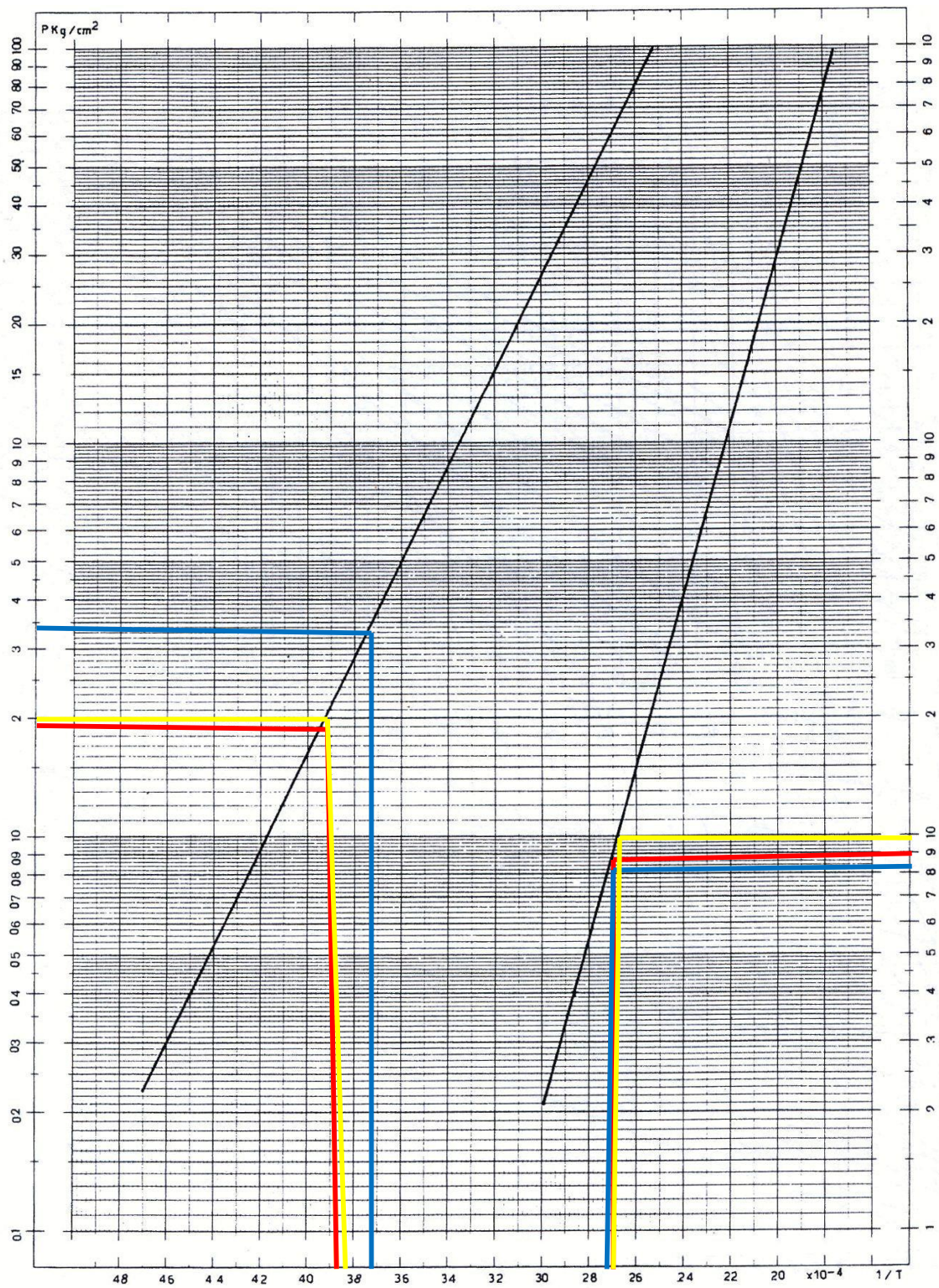


Diagrama 4.2 – Pressão X Recíproco da temperatura
Fonte: Modifício Absorption Refrigeration Trainer.

4.1 ENERGIA ELÉTRICA DA REDE.

Para a retirada dos dados é necessário que o sistema esteja em equilíbrio, isto é, suas temperaturas de saturação no evaporador não variem muito. A Tabela 4.2 retrata os dados obtidos com gráficos e equações, para os itens de operação Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Fatores do experimento com energia elétrica

Tensão	Corrente	Temperatura ambiente	Tempo de equilíbrio térmico
13,3V	6,5A	25°C	01h25min

Fonte: Própria Autoria.

As concentrações das SR e SF podem ser vistas traçadas no Diagrama 4.3, para energia elétrica da rede.

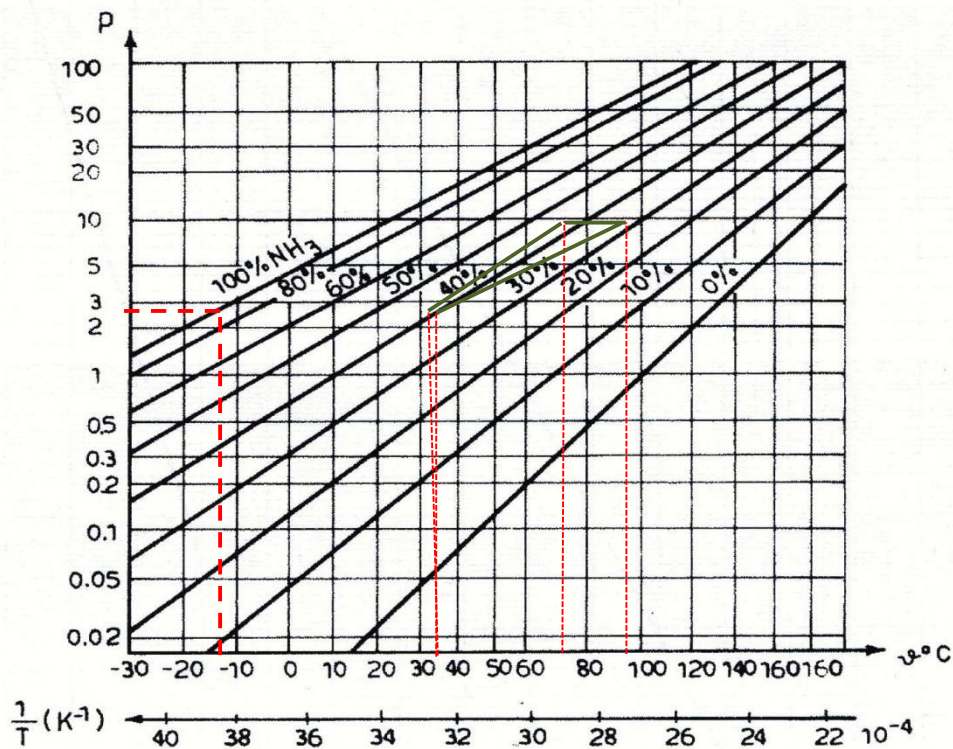


Diagrama 4.3 – Níveis de concentração para partida energia da rede
 Fonte: Modificado / Absorption Refrigeration Trainer.

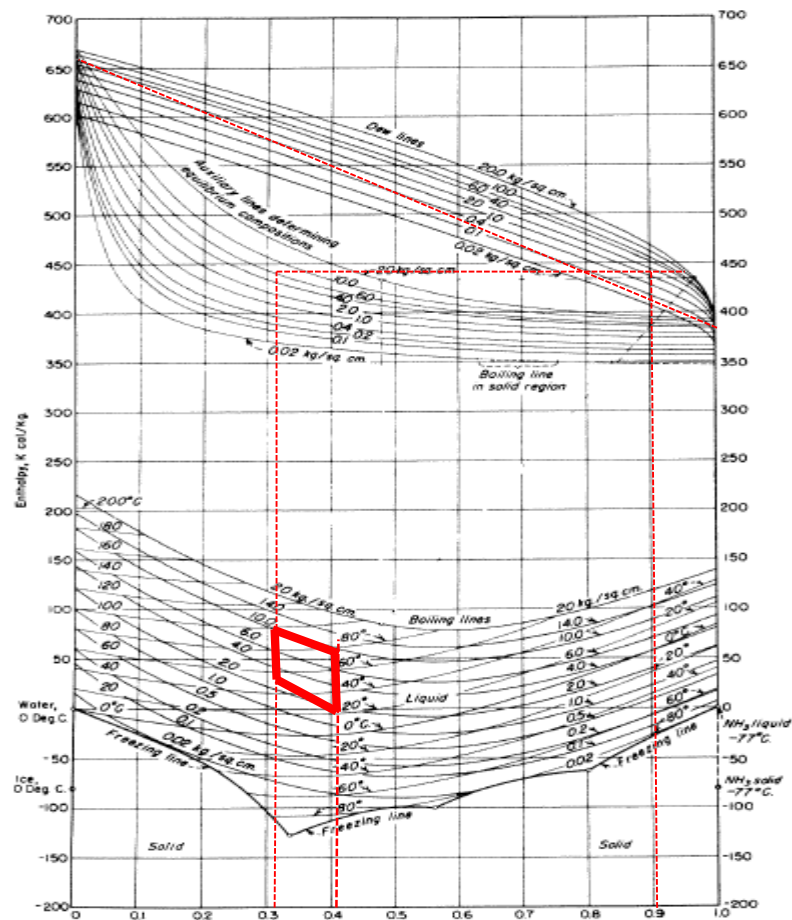


Gráfico 4.1 – Entalpia X Concentração para energia da rede
 Fonte: Modificado / Eletronica Veneta SPA.

Tendo a Eq. 2.18 em mãos conseguimos calcular o COP, do sistema para esse tipo de partida, com as respectivas entalpias mostradas no Gráfico 4.1.

Tabela 4.2 – Dados obtidos no ensaio, rede elétrica.

Variáveis	COMPONENTES							
	Evaporador		Condensador		Gerador		Absorvedor	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Temperatura (K)	260,45	311,0	370,25	306,8	345,85	370,2	314,35	307,7
Pressão (bar)	2,4	2,4	9	9	9	9	2,4	2,4
Concentração de amônia (%)	90	90	90	90	41	33	33	41
Entalpia (kcal/Kg)	101	377	390	101	60	80	10	-8
Q (kcal/s)	276	276	289	289	446,7	446,7	530,5	530,5
\dot{m} (kg/s)	1	1	1	1	8,36 + 0,11	7,36+ 1,11	1 + 7,36	8,36

Fonte: Própria Autoria.

4.2 GÁS GLP

Para retiradas dos dados da Tabela 4.3 foi necessário levar alguns parâmetros em consideração, sendo eles:

Tabela 4.3 – Fatores do experimento gás GLP

Tensão	Corrente	Temperatura ambiente	Tempo de equilíbrio térmico
Não mensurável	Não mensurável	26°C	33min

Fonte: Própria Autoria.

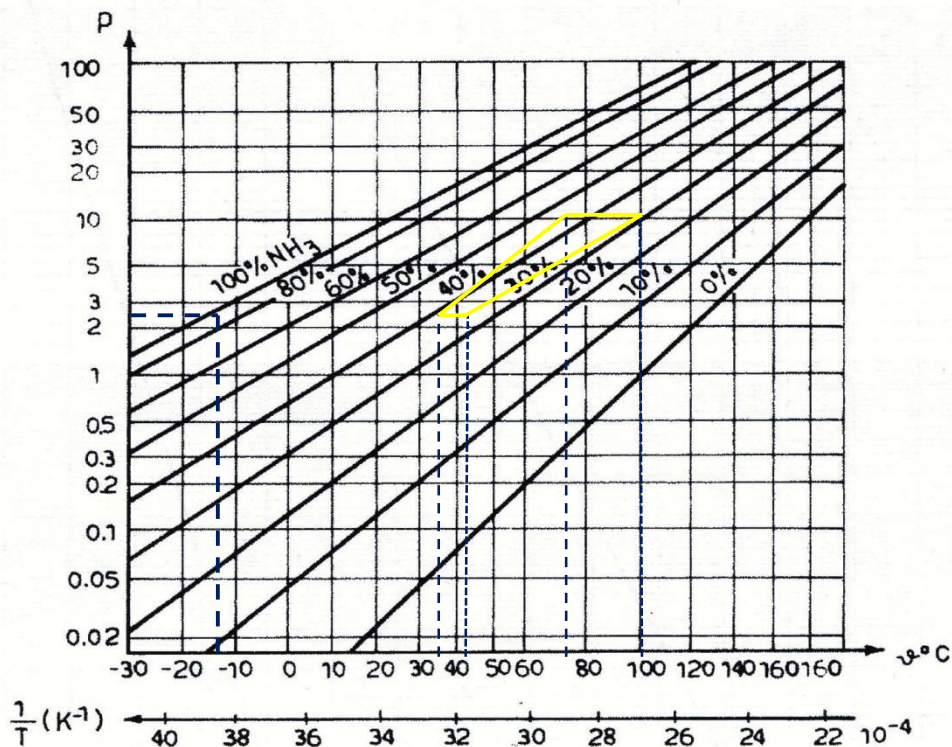


Diagrama 4.4 – Níveis de concentração para partida gás GLP

Fonte: Modificado / Absorption Refrigeration Trainer.

Para a retirada das temperaturas indicadas na Tabela 4.4 é necessário que se ligue na rede elétrica, uma vez que o gás não fornece energia elétrica para os controladores de temperatura do sistema. O Diagrama 4.4 fornece as concentrações para diferentes etapas do sistema podendo assim ser calculada a entalpia do sistema.

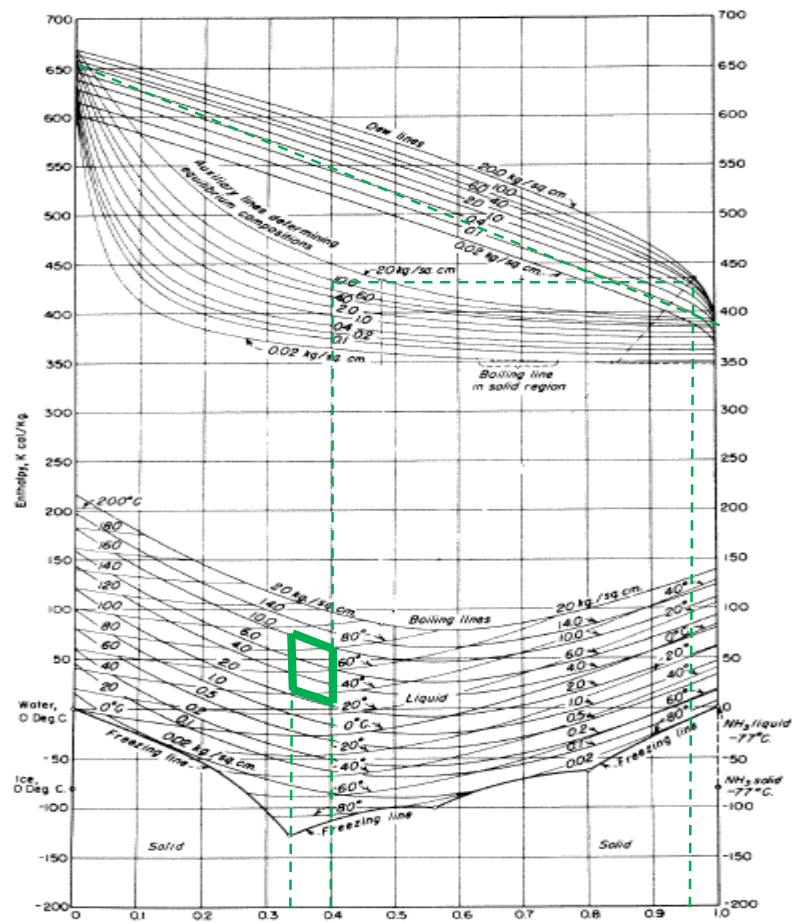


Gráfico 4.2 – Entalpia X Concentração para gás GLP
Fonte: Modificado / Eletronica Veneta SPA.

O Gráfico 4.2 traz as entalpias para partida utilizando o gás GLP com fonte.

Tabela 4.4 – Dados obtidos no ensaio, gás GLP.

Variáveis	COMPONENTES							
	Evaporador		Condensador		Gerador		Absorvedor	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Temperatura (K)	259,85	309,8	374,35	320,8	347,35	374,3	314,95	308,05
Pressão (bar)	2,5	2,5	10	10	10	10	2,5	2,5
Concentração de amônia (%)	95	95	95	95	40	33	33	40
Entalpia (kcal/Kg)	107	390	393	107	65	75	20	10
Q (kcal/s)	283	283	286	286	430,27	430,2	468,6	468,6
\dot{m} (Kg/s)	1	1	1	1	9,56 +0,041	8,56 + 1,041	1 + 8,56	9,56

Fonte: Própria Autoria.

4.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Os fatores do experimento feito com células fotovoltaicas estão mostrados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Fatores do experimento células fotovoltaicas

Tensão	Corrente	Temperatura ambiente	Tempo de equilíbrio térmico
12,5 V	10,5 A	29,7 °C	1h10min

Fonte: Própria Autoria.

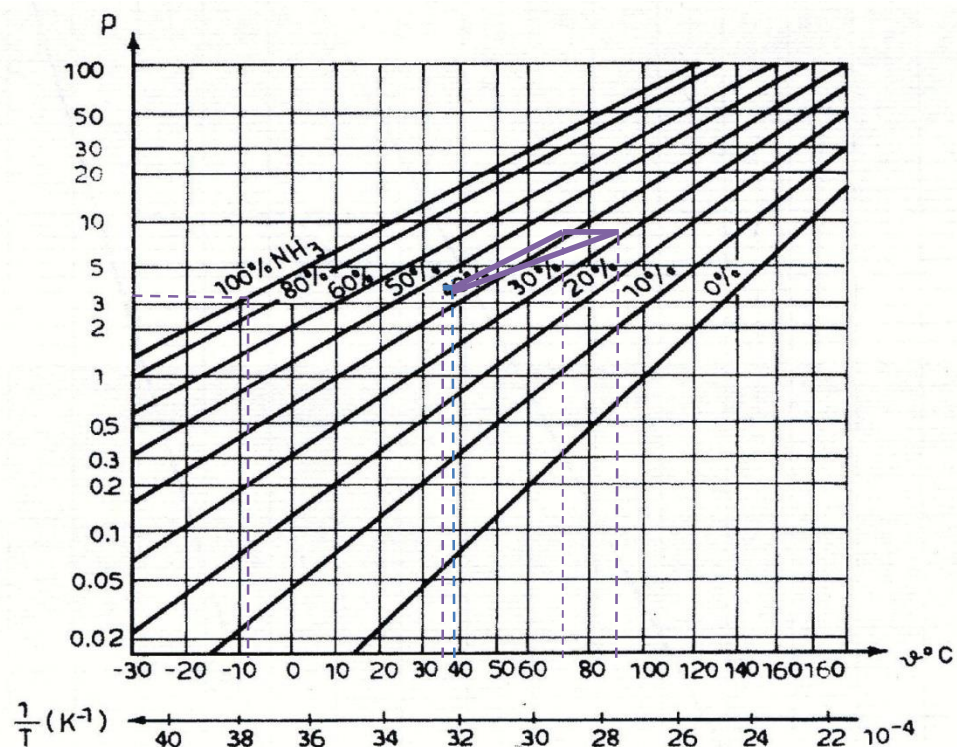


Diagrama 4.5 – Níveis de concentração para partida células fotovoltaica

Fonte: Modificado / Absorption Refrigeration Trainer.

A Tabela 4.6 mostra os dados específicos retirados da bancada para partida com células fotovoltaica, tendo em vista, as temperaturas e pressões do ciclo. As pressões do ciclo de absorção utilizando o gás GLP como fonte de calor para o sistema estão descritos acima no Diagrama 4.5.

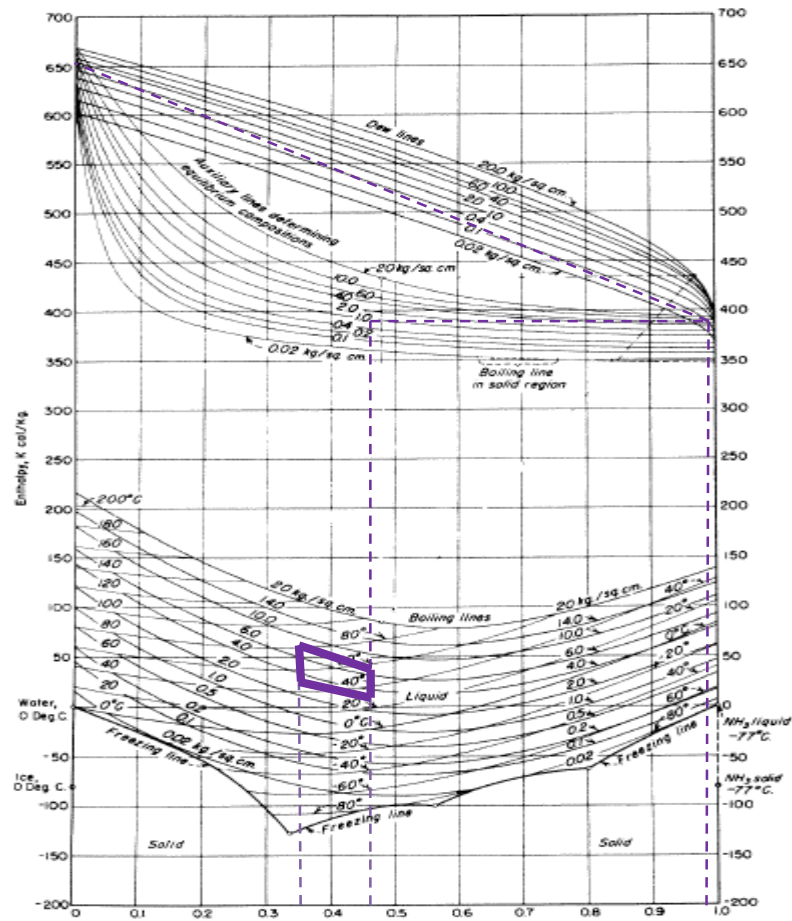


Gráfico 4.3 – Entalpia X Concentração para gás GLP
 Fonte: Modificado / Eletronica Veneta SPA.

As entalpias do Gráfico 4.3 podem ser vistas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Dados obtidos no ensaio, células fotovoltaica

Variáveis	COMPONENTES							
	Evaporador		Condensador		Gerador		Absorvedor	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Temperatura (K)	265,15	309,8	362,45	307,8	343,75	362,4	312,15	308,2
Pressão (bar)	3,4	3,4	8,6	8,6	8,6	8,6	3,4	3,4
Concentração de amônia (%)	98	98	98	98	46	35	35	46
Entalpia (kcal/Kg)	100	376	384	100	40	55	20	10
Q (kcal/s)	276	276	384	384	448,7	448,7	423	423
\dot{m} (Kg/s)	1	1	1	1	5,9 + 0,020	4,9 + 1,020	1 + 4,9	5,9

Fonte: Própria Autoria.

4.4 COEFICIENTES DE PERFORMANCE

Uma vez calculado os coeficientes de performance para os três tipos de partidas distintas, e levando as condições de contorno de cada partida em consideração, obtemos os seguintes dados pela Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Coeficientes de Performance

Partidas	COP %	Tempo de equilíbrio
Energia Elétrica da Rede	62	01h25min
Gás GLP	66	33min
Células Fotovoltaicas	61	1h10min

Fonte: Própria Autoria

Como mostrado pela Tabela 4.7 o rendimento de performance do Gás GLP, se mostrou mais eficaz tendo que seu tempo de equilíbrio no evaporador foi consideravelmente menor que os métodos por energia elétrica. Os percentuais de diferença entre as partidas podem ser visto também através do Gráfico 4.1.

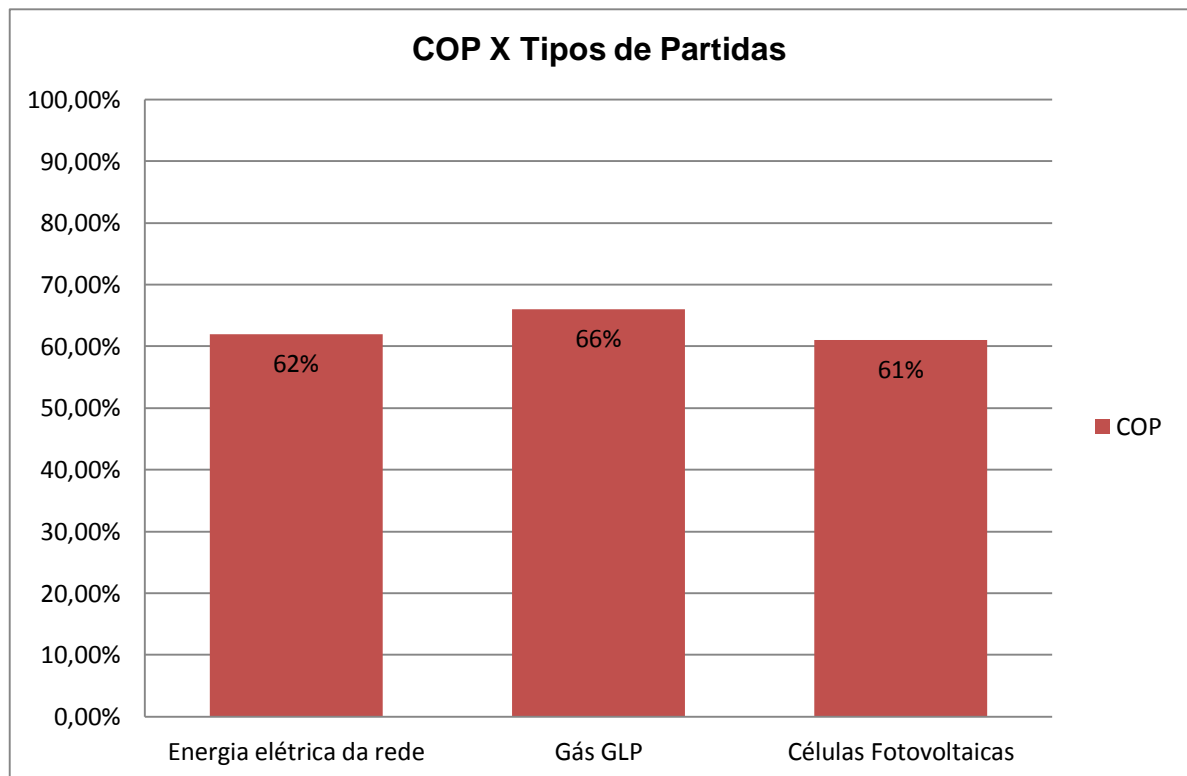


Gráfico 4.4 – COP X Tipos de Partidas

Fonte: Própria Autoria.

5. CONCLUSÃO

Notando-se uma aproximação muito grande da performance das células e da energia da rede, conclui-se que, para aproximadamente o mesmo rendimento com as células fotovoltaicas não foi gasta nenhuma energia provinda da rede elétrica, única e exclusivamente transformação de luz solar através das células. O gás obteve a maior eficiência dos três métodos, uma vez que ele ainda necessita de energia elétrica para seu monitoramento, pois os displays digitais são alimentados por energia elétrica.

Uma análise mais geral mostra resultados satisfatórios em relação aos métodos, tendo o gás GLP um COP superior a 4% em relação à energia da rede e 5% em relação as células fotovoltaicas.

O trabalho consegue transmitir na prática, o espaço e a eficiência que as energia renováveis estão alcançando no cenário global, uma vez que seu rendimento foi consideravelmente equivalente às outras partidas.

6. REFERÊNCIAS

PERRY. G.; **Perry's Chemical Engineers' handbook**. 7th

ARAÚJO, J. J. P.; **Simulação de uma unidade de refrigeração por absorção usando o par amônia/água nos regimes permanentes e transientes**. João pessoa, 2010. Tese de doutorado, Universidade Federal da Paraíba.

STOECKER, W.F.; and JONES, J.W, **Refrigeration and Air Conditioning**, McGraw-Hill, 1982.

B.C. Von Platen, C.G. **Munters, Refrigerator**, US Patent 1,685,764, 1928.

BENEDETTI, T. M.; **Análise técnica e econômica de um sistema de refrigeração por ciclo de absorção amônia-água e sua integração com um abatedouro de aves**. Campinas, 2010. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

MENEGHETTI, C. R.; **Estratégias de controle em câmara de refrigeração por compressão de vapor**. Campinas, 2009. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

MENNA, M. R. M.; **Modelagem e análise de custo de sistemas de refrigeração por absorção**. Toledo, 2008, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

GENIÊR, F. S.; **Ciclos de Refrigeração: Conceitos e estudos de Eficiência**. Espírito Santo, Brasil: 2013. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo.

PRETER, F. C.; **Modelagem e simulação de um protótipo laboratorial de um ciclo de refrigeração por absorção de amônia- água**. São Paulo, 2009. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo.

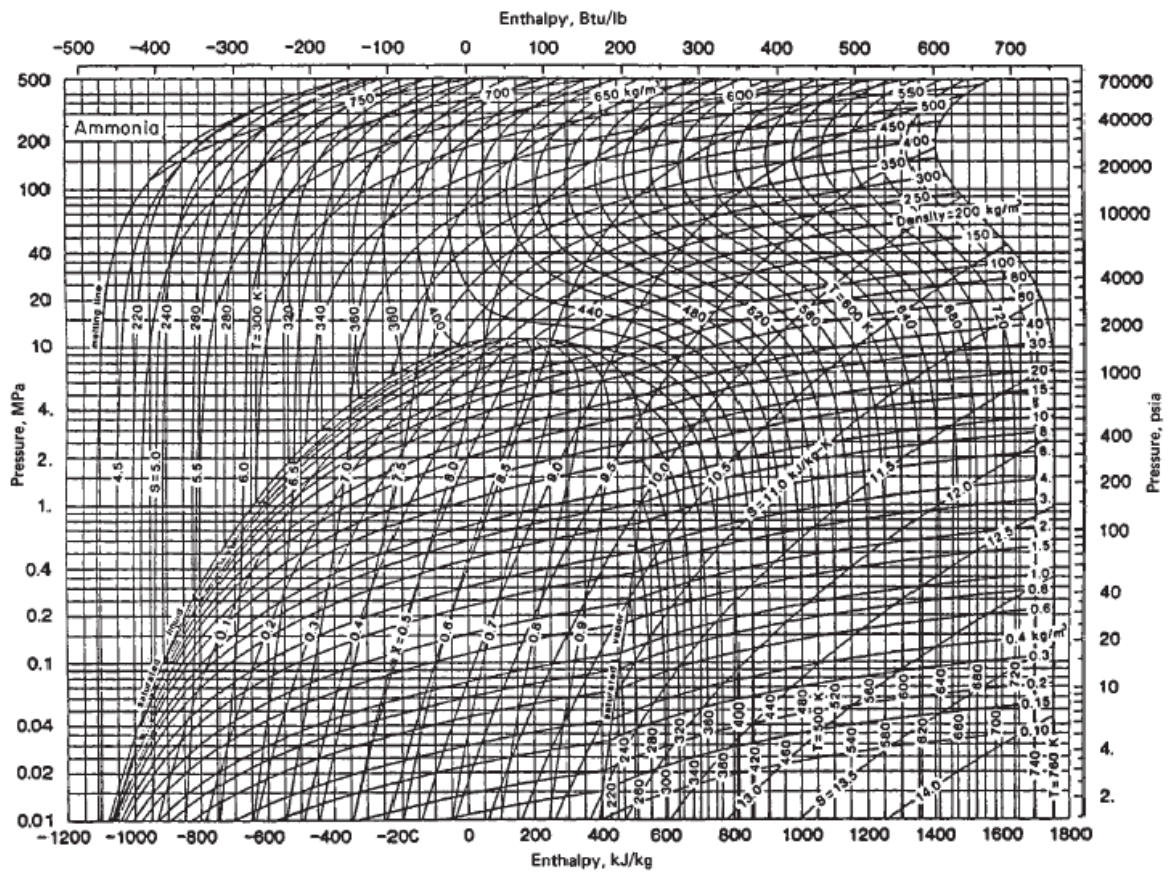
ROMANO, L. F. R.; GALLO, R.; CAMPOS, R. S. DE.; **Análise energética de um sistema de refrigeração por absorção utilizando a mistura amônia-água.** XVII Seminário de iniciação científica e tecnológica da UTFPR, Cornélio Procópio - PR, 2012. Disponível em : <<http://conferencias.utfpr.edu.br/ocs/index.php/sicite/2012/paper/viewfile/281/740>>. Acesso em :09 DEZ. 2012.

VARGAS, L. C. P.; **Análise teórico-experimental do coeficiente de performance (COP) de um sistema de refrigeração por jato-compressão.** Natal, 2010. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ALEOTTI, I. O. M.; **Ciclo frigorífico de absorção água-amônia utilizando energia solar não concentrada.** Rio de Janeiro, 1986. Dissertação de mestrado Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Dorgan, C. B.; Steven, P. L; Dorgan, C. E. 1995. **Application Guide for Absorption Cooling/Refrigeration using Recovered Heat**, ASHRAE.

ANEXO A – Densidade de amônia em relação à pressão e entalpia.



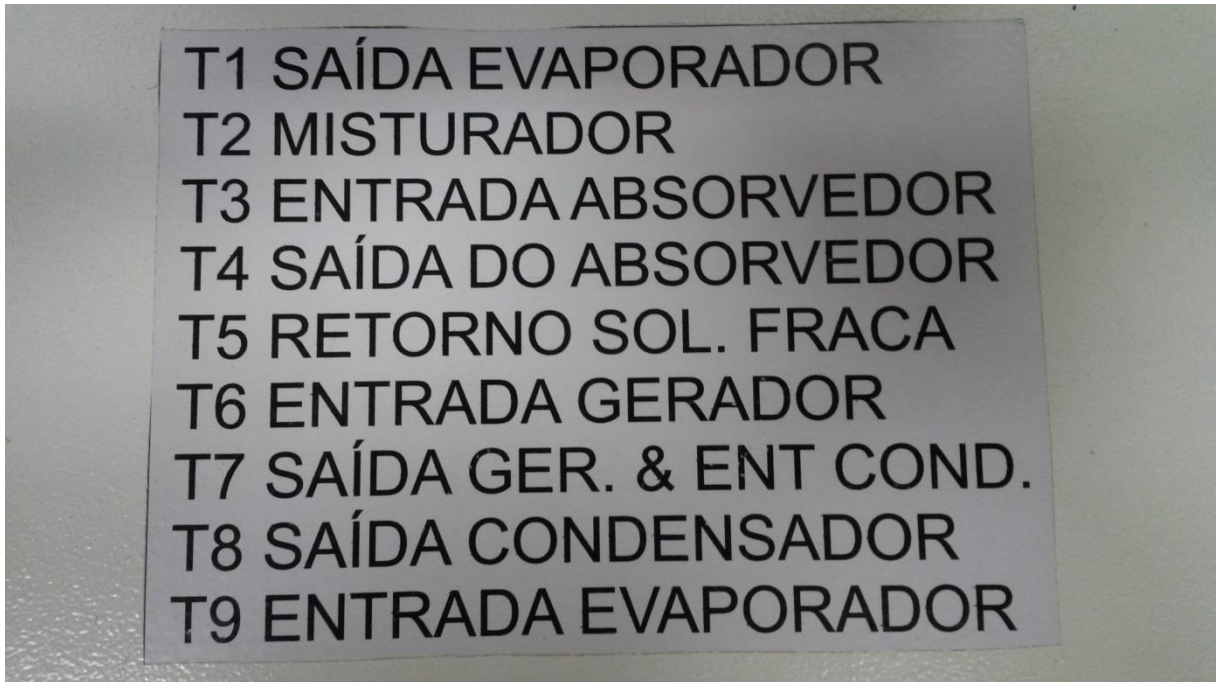
Fonte: Perry e Green (1999)

ANEXO B – Foto do painel elétrico da bancada de refrigeração.



Fonte: Própria Autoria.

ANEXO C – Nomenclatura de pontos de mensuração das temperaturas.



Fonte: Própria Autoria.