

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

MÁRCIO HENRIQUE BASTOS DE QUEIROZ

**BANCADA DIDÁTICA PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR
ABSORÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA
2013

MÁRCIO HENRIQUE BASTOS DE QUEIROZ

**BANCADA DIDÁTICA PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR
ABSORÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Eletromecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador : Prof. Dr. Paulo César Tonin

MEDIANEIRA – PR
2013



TERMO DE APROVAÇÃO

BANCADA DIDÁTICA PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

por

MÁRCIO HENRIQUE BASTOS DE QUEIROZ

Este Trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 19:00 h do dia 04 de abril de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O acadêmico foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Paulo César Tonin
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Msc. Dirceu de Melo
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Esp. Darlan Roque Dapieve
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Msc. Yuri Ferruzzi
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

Agradecimentos

Agradeço...

Agradeço primeiramente a Deus.

Aos meus pais, Pedro e Beth, por terem acreditado em mim, por terem me apoiado e por muitas vezes terem se sacrificado para me dar tudo o que precisei.

À Janaína, minha namorada, que me ajudou a acreditar que eu era capaz, por todos os conselhos, apoio, incentivo, todo carinho, cumplicidade e compreensão.

Ao Professor Tonin, meu orientador, pela sabedoria, competência, apoio, por toda dedicação e confiança, agradeço pela orientação.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse concluído com sucesso. Muito obrigado!

*“Inspiração vem dos outros. Motivação
vem de dentro de nós.”*

(Junior Montalvão)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a construção de uma bancada didática para sistema de absorção doméstico. O objetivo é auxiliar no processo de treinamento e aprendizado dos alunos da UTFPR e de profissionais da área de refrigeração, através da demonstração do funcionamento, de forma ilustrativa, do ciclo de refrigeração. Para o desenvolvimento e construção da bancada foi necessário a aquisição de um Frigobar Consul Junior, além de materiais e componentes para a confecção da mesma. A bancada foi desenvolvida sobre uma estrutura tubular metálica, com rodízios para facilitar o deslocamento e com o reaproveitamento dos componentes usados. O trabalho contribuirá para a formação profissional de futuros tecnólogos e engenheiros, na compreensão dos fenômenos físicos envolvidos no sistema de refrigeração por absorção, conferindo-lhe conhecimento para atuar na área de refrigeração e no serviço de manutenção.

Palavras chave: Bancada didática. Refrigeração. Absorção.

ABSTRACT

This paper presents the development and construction of a bench didactic system for domestic absorption. The goal is to help in the training process and students' learning of UTFPR and cooling professionals, by demonstrating the operation as an illustration the operation of the refrigeration cycle. For the development and construction of the bench was necessary to purchase a Junior Ice Consul, and materials and components for manufacturing the same. The bench was grown on a tubular metal casters to facilitate movement and the reuse of components used. The work will contribute to the training of future technologists and engineers in understanding the physical phenomena involved in the absorption refrigeration system, giving it knowledge to work in the field of refrigeration and maintenance service.

Keywords: Bench didactic. Refrigeration. Absorption.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pares mais conhecidos utilizados para absorção.....	13
Tabela 2: Materiais utilizados no desenvolvimento da bancada.....	17

LISTA DE FIGURAS

f

Figura 1: Ciclo básico de um sistema de refrigeração por absorção.....	15
Figura 2: Estrutura da bancada	18
Figura 3: Pintura da bancada	19
Figura 4: Sistema de Absorção fixado à bancada.....	19
Figura 5: Frigobar Consul Junior	20
Figura 6: Pontos de oxidação.....	20
Figura 7: Pintura do sistema (vista anterior)	21
Figura 8: Pintura do sistema (vista posterior)	21
Figura 9: Montagem da caixa do aquecedor	22
Figura 10: Sistema de ventilação forçada	23
Figura 11: Suporte para os Coolers	23
Figura 12: Ponto de medição no condensador	24
Figura 13: Ponto de medição no evaporador	24
Figura 14: Painel de comando	25
Figura 15: Painel de acrílico	25
Figura 16: Fita LED	26
Figura 17: Vista anterior da bancada didática	26
Figura 18: Vista posterior da bancada didática	27
Figura 19: Diagrama de Funcionamento	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO GERAL	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	LEVANTAMENTO HISTÓRICO	12
2.2	PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DA REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO	14
2.3	VANTAGENS DE SISTEMAS DE ABSORÇÃO	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	DESENVOLVIMENTO DA BANCADA	18
4	DISCUSSÃO	28
5	CONCLUSÃO	31
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de refrigeração por absorção de vapores são ciclos de refrigeração operados a calor, onde um fluido secundário ou absorvente na fase líquida é responsável por absorver o fluido primário ou refrigerante, na forma de vapor. Ciclos de refrigeração operados a calor são assim definidos, porque a energia responsável por operar o ciclo é majoritariamente térmica (ALMÉN, 2013).

Muito utilizado na década de 50 a 70, o sistema de refrigeração por absorção doméstico passou a ser usado nas áreas rurais, em áreas onde não havia energia elétrica. Hoje em dia poucos os conhecem e raramente são encontrados, pois sua produção foi sendo reduzida nestes últimos 30 anos.

Nesse contexto, procurando uma forma de demonstrar o funcionamento desse sistema, viu-se a necessidade de desenvolver uma bancada didática com o objetivo de demonstrar o funcionamento do sistema de refrigeração por absorção.

No ensino das engenharias, os alunos adquirem em aula conhecimentos teóricos repassados pelos professores, os quais também muitas vezes relatam suas experiências práticas e profissionais. Aliado a este fato, em certas disciplinas é indispensável a utilização de experimentos em laboratório para uma melhor compreensão e interação do aluno com o tema abordado. Portanto, para a realização destes experimentos é necessária a compra de equipamentos didáticos ou até mesmo sua confecção, quando se trata de um equipamento oneroso ou até mesmo inexistente.

Atualmente os alunos desenvolvem diversas tarefas em laboratório, as quais visam complementar seus conhecimentos teóricos e práticos. Os equipamentos utilizados, tais como as bancadas didáticas são na maioria das vezes confeccionados na própria universidade, o que além de baratear sua utilização auxilia no aprendizado dos alunos.

Desta forma o desenvolvimento da bancada didática para sistema de absorção doméstico vai auxiliar no processo de treinamento e aprendizado dos alunos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Câmpus Medianeira que não dispõe de tal sistema para estudo e também auxiliar

profissionais da área de refrigeração. Esta bancada vai demonstrar de maneira simples e fácil o funcionamento de um sistema de refrigeração por absorção.

1.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma bancada didática para auxiliar no processo de treinamento e aprendizado dos alunos da UTFPR e de profissionais da área de refrigeração.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demonstrar o funcionamento do ciclo de refrigeração por absorção;
- Descrever de forma ilustrativa as etapas do funcionamento do sistema de refrigeração por absorção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LEVANTAMENTO HISTÓRICO

Desde a pré-história, o homem tem a necessidade, ou a vontade, de obter formas de resfriamento que façam com que alimentos ou outras substâncias alcancem temperaturas inferiores a do ambiente.

Os métodos mais antigos de produção do frio faziam uso do gelo natural ou de misturas de sal e neve. Posteriormente descobriu-se que dissolvendo nitrato de sódio em água abaixava a temperatura da mistura (REFRIGERAÇÃO, 2011).

Cari Von Linde foi o primeiro a introduzir a Amônia como refrigerante em torno de 1870. Por ter um ponto de ebulição de $-33,3^{\circ}\text{C}$ proporcionava temperaturas bem mais baixas do que as disponíveis anteriormente, apesar de apresentar pressões em torno de dez atmosferas ou mais no condensador, requerendo assim construções mais robustas (REFRIGERAÇÃO, 2011).

Os primeiros estudos teóricos em refrigeração por absorção foram feitos por Nairne em 1777. O inventor da máquina de absorção, Ferdinand E. Carré, de Paris, construiu e patenteou, em 1823, a primeira máquina capaz de trabalhar com corpos líquidos e sólidos para a absorção (STEPHAN, 1983). De 1859 até 1862, quatorze patentes de sistemas de absorção trabalhando com o par refrigerante água-amônia foram registradas. Diversos sistemas foram construídos a partir de então. Naquela época Ferdinand E. Carré descrevia as futuras aplicações desta tecnologia, tais como condicionamento de ar, controle de processos de fermentação e concentração, dentre outras (ZUKOWSKI, 1999).

Em 1880, nos Estados Unidos da América (EUA), Carl V. Linde começou a substituir as máquinas de absorção por sistemas de refrigeração à compressão mecânica e, no final do século, aquelas perderam sua importância. Quando as cervejarias, que estavam entre os mais importantes usuários, conseguiram diminuir o consumo de vapor no processo e menos vapor ficou

disponível à produção de frio, as máquinas de absorção desapareceram quase que totalmente (ZUKOWSKI, 1999).

Somente em épocas quando o custo de energia aumentou (período após a Primeira Guerra Mundial) e a necessidade de aproveitamento de calor rejeitado se tornou importante é que os sistemas de absorção voltaram a ser utilizados em larga escala (ZUKOWSKI, 1999).

Uma grande parte dos fundamentos desta tecnologia foi desenvolvida entre os anos 1920 a 1940. Utilizou-se vários absorventes sólidos e líquidos. Grandes unidades foram construídas por toda a Europa (STEPHAN, 1983).

Segundo Pohlman, s/ data, os pares de fluidos mais conhecidos utilizados para absorção encontram-se na tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Pares mais conhecidos utilizados para absorção.

Corpo Absorvente	Fluido Refrigerante
Água	Amônia (NH ₃), Metil Amina (CH ₃ NH ₂) e outras Aminas Alifáticas
Solução de Brometo de Lítio em Água	Água
Solução de Cloreto de Lítio em Metanol	Metanol (CH ₃ OH)
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	Água
Hidróxido de Potássio (KOH) ou de Sódio (NaOH) ou misturas	Água
Sulfocianeto de Amônia (NH ₄ CNS)	Amônia (NH ₃)
Tetracloroetona (C ₂ H ₂ Cl ₄)	Cloreto de Etila (C ₂ H ₂ Cl)
Óleo de Parafina	Tolueno (C ₇ H ₈), Pentano (C ₅ H ₁₂)
Glicol Etilico (C ₂ H ₄ (OH) ₂)	Metil Amina (CH ₃ NH ₂)
Éter Dimetílico de Glicol Tetraetílico (CH ₃ (OCH ₂ CH ₂) ₄ OCH ₃)	Monofluor-Dicloro-Metano (CHFCl ₂), Diclorometano(CH ₂ Cl ₂)

Fonte: (Pohlman, s/ data)

Na Suécia foi desenvolvido, por volta de 1930, o refrigerador ELETROLUX de uso doméstico baseado nas patentes de Platen e Munters. Estes refrigeradores foram comercializados em muitos países até os anos 50. A partir desta data os sistemas de absorção tiveram sua produção reduzida

frente o avanço tecnológico dos refrigeradores por compressão mecânica (ZUKOWSKI, 1999).

Os sistemas de refrigeração por absorção também foram usados por volta de 1950, em caminhões frigoríficos (CARVALHO, 2008).

Woolrich (1965) foi um dos primeiros a descrever, de maneira clara, o sistema de refrigeração por absorção e a publicar tabelas completas com propriedades termodinâmicas sobre vapor de amônia em solução com água (CARVALHO, 2008).

O sistema de refrigeração por absorção, embora presente desde os primórdios da refrigeração, não teve uso expressivo até os anos 70, o que é claramente evidenciado pela pequena quantidade de instalações e publicações relacionadas (CARVALHO, 2008).

2.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DA REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

O princípio básico de todo ciclo de refrigeração é o de transferir calor de um reservatório de baixa temperatura para um reservatório de mais alta temperatura (ZUKOWSKI, 1999).

O ciclo de absorção baseia-se no fato de que os vapores de alguns fluidos refrigerantes podem ser absorvidos em grandes quantidades por certos líquidos ou soluções salinas. O refrigerante pode ser separado da solução resultante da absorção, por aquecimento. Assim, nos ciclos de absorção, substitui-se o compressor pelo conjunto gerador - absorvedor e bomba, enquanto que, o evaporador e o condensador funcionam da mesma forma como no ciclo de compressão (ZUKOWSKI, 1999).

Num sistema de funcionamento, Figura 1, a solução água-amônia se separa do vapor de amônia pelo aquecimento da solução no gerador; o vapor da amônia é condensado em um condensador a água; a amônia líquida é expandida numa válvula de expansão. Entrando no evaporador a amônia evapora-se trocando calor necessário à sua evaporação e realizado o "efeito frio". A amônia, já vapor, é absorvida pela solução pobre em amônia. A reação

de absorção é exotérmica e se passa em um recipiente conhecido como absorvedor produzindo uma solução rica em amônia (água-amônia, NH_4OH). A solução rica é então bombeada, passa por um trocador de calor e entra no gerador fechando o ciclo. A solução pobre que sai do gerador, passa por um trocador de calor, trocando calor com a solução rica, passa por uma válvula de expansão para igualar a pressão com o vapor de amônia que vem do evaporador e entra no absorvedor (ZUKOWSKI, 1999).

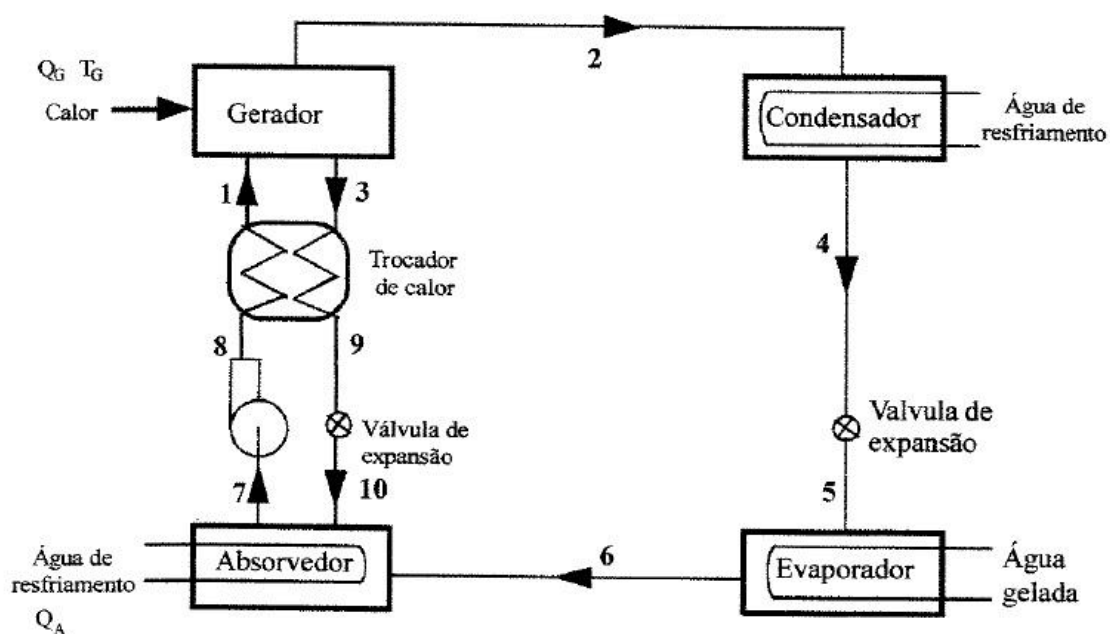


Figura 1 – Ciclo básico de um sistema de refrigeração por absorção.

Fonte: (Zukowski, 1999)

2.3 VANTAGENS DO SISTEMA DE ABSORÇÃO

Desde a primeira máquina, a popularidade dos sistemas de absorção tem variado devido a condições econômicas e de desenvolvimento tecnológico. As vantagens de sistemas de absorção, contudo, permanecem as mesmas ao longo do tempo e incluem as seguintes (DORGAN *et al.*, 1995):

- Sistemas de absorção necessitam de menor consumo de energia elétrica quando comparados com os sistemas de compressão de vapor;
- Plantas de absorção são silenciosas e livres de vibração;

- O calor recuperado pode ser utilizado como insumo energético (em substituição ao trabalho mecânico) em ciclos de refrigeração por absorção;
- Plantas de absorção não causam dano à camada de ozônio e podem ter menor impacto no aquecimento global do que outras opções;
- Plantas de absorção são economicamente atrativas quanto aos custos dos combustíveis (querosene, gás GLP, óleo, biogás) que são substancialmente menores que os de energia elétrica, com o custo do combustível de 12 a 20 % do custo da energia elétrica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o presente estudo foi desenvolvido uma bancada didática, com o objetivo de auxiliar no processo de treinamento e aprendizado dos alunos da UTFPR – Câmpus Medianeira.

Os materiais utilizados para a construção e montagem da bancada encontram-se especificados na Tabela 2.

Tabela 2: Materiais utilizados no desenvolvimento da bancada.

Item	Descrição	Qtde	Un.	Vlr.Unit.
1	Cabo de PP 2x4	3	M	R\$ 15,00
2	Chave Liga/Desliga com iluminação 3 pinos	2	Pç	R\$ 30,00
3	Coolers 12v	4	Pç	R\$ 40,00
4	Fita dupla face 3M	10	M	R\$ 13,00
5	Fita LED	2	M	R\$ 40,00
6	Fonte 12v 3A DC	1	Pç	R\$ 31,00
7	Frigobar Consul Junior (Absorção) usado	1	Pç	R\$ 120,00
8	Impressão digital	2	Pç	R\$ 60,00
9	Material de pintura	18	Itens	R\$ 162,00
10	Placa de acrílico branco leitoso 50x50cm	1	Pç	R\$ 60,00
11	Plug tomada	1	Pç	R\$ 5,00
12	Rodizio giratorio preto	4	Pç	R\$ 20,00
13	Solda e pintura da estrutura	1	Mo.	R\$ 55,00
14	Termômetro digital de painel - 50 / 70°C	2	Pç	R\$ 40,50
15	Tubo quadrado de aço 20x20	10	M	R\$ 65,00
16	Vidro 4mm	1	Pç	R\$ 7,00
17	Canaleta de Alumínio	2	Pç	R\$ 20,00
TOTAL				R\$ 903,50

A montagem da bancada será discutida em detalhes nas seções seguintes.

3.1 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

A bancada foi construída nos meses de fevereiro e março de 2013. A estrutura foi confeccionada utilizando tubos metálicos de seção quadrada de 30 x 30 mm com dimensões de 1400 mm de altura, 400 mm de largura e 860 mm de comprimento. Em seguida foi confeccionado o suporte para fixação do sistema de absorção com 490 mm de largura por 570 mm de altura, conforme a Figura 2.



Figura 2. Estrutura da Bancada

Concluída a confecção da estrutura foram fixados quatro rodízios giratórios para dar a bancada uma maior mobilidade. Para finalizar, a estrutura recebeu uma camada de tinta azul na parte metálica, conforme a Figura 3.



Figura 3. Pintura da bancada

Após a secagem da pintura foi fixado o sistema de absorção à estrutura (Figura 4).



Figura 4. Sistema de Absorção fixado à bancada.

O sistema de absorção foi retirado de um frigobar Consul modelo Junior 80 litros, fabricado na década de 70, que utiliza como fonte de calor uma resistência elétrica de 127 V/ 90 W (Figura 5).



Figura 5. Frigobar Consul Junior

Ao iniciar a desmontagem da caixa do aquecedor para posterior pintura foi observado pontos de oxidação no sistema (Figura 6).

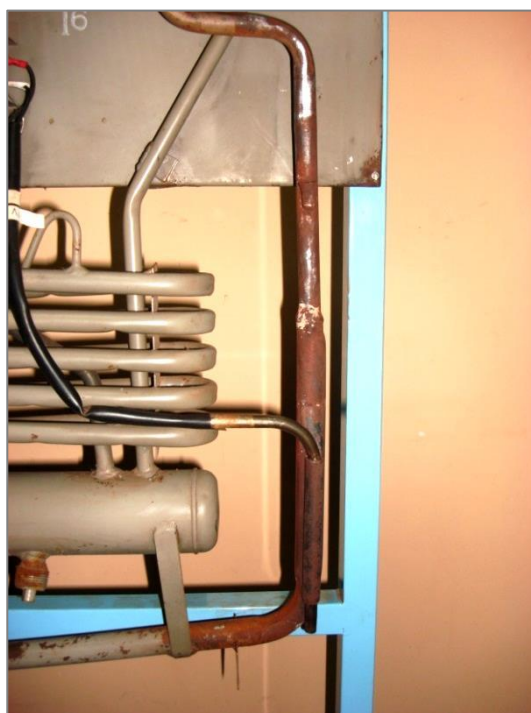


Figura 6. Pontos de oxidação.

Para eliminar a ferrugem foi utilizado o conversor de ferrugem TF7 produzido pela TF7 Química do Brasil, que forma uma película protetora que previne a corrosão, além de preparar a superfície para receber a pintura. Após

a secagem do produto foi aplicado uma camada de tinta resistente a alta temperatura que serviu de base para a pintura final.

Na sequência foi iniciado a pintura do sistema, onde foi utilizado diferentes cores para ilustrar as etapas do processo de absorção, conforme Figuras 7 e 8.

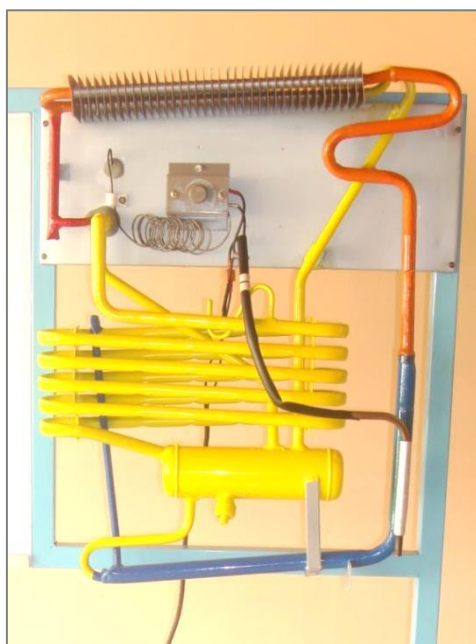


Figura 7. Pintura do sistema (vista anterior).



Figura 8. Pintura do sistema (vista posterior).

Então iniciou-se a montagem da caixa do aquecedor, substituindo a tampa frontal por uma placa de vidro para facilitar a visualização da resistência elétrica e do isolamento térmico (Figura 9).

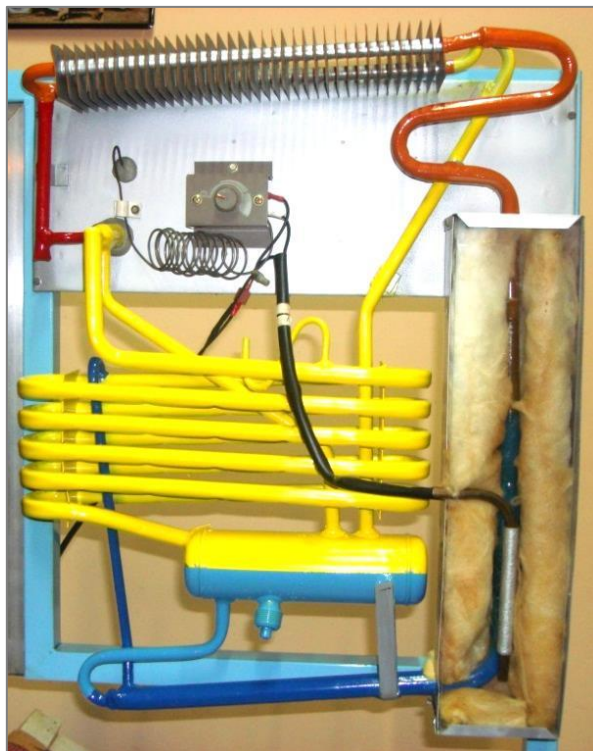


Figura 9. Montagem da caixa do aquecedor

A fim de melhorar a eficiência do ciclo, foi integrado ao condensador um sistema de ventilação forçada formado por quatro *coolers* e alimentados com uma tensão de 12 V. Eles tem como objetivo acelerar o processo de condensação através da passagem forçada de ar sobre as aletas do condensador. Este processo faz com que o resfriamento no evaporador se dê de forma mais rápida (Figura 10). Para a montagem do suporte dos *coolers* foram utilizados canaletas de alumínio e adicionado uma tela para proteção dos *coolers* (Figura 11).



Figura 10. Sistema de ventilação forçada.

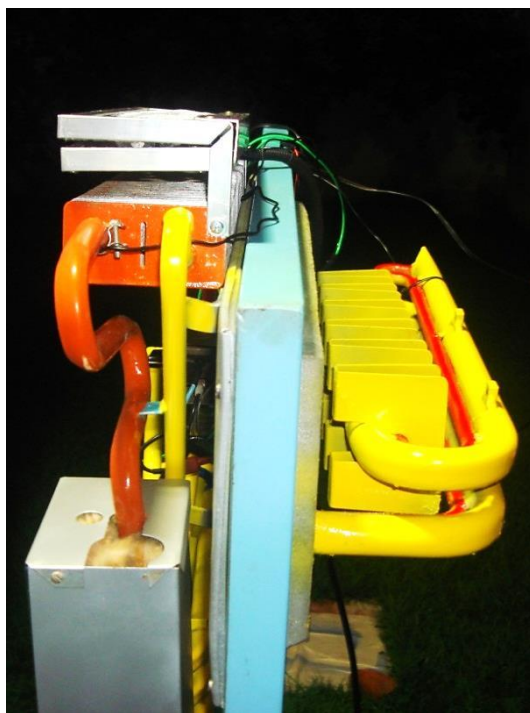


Figura 11. Suporte para os *coolers*.

Para monitorar o sistema em funcionamento foram adicionados dois termômetros digitais que atuam na faixa temperatura de - 50 °C a 110 °C. O primeiro foi colocado na entrada do condensador (Figura 12) e o segundo na entrada do evaporador (Figura 13).

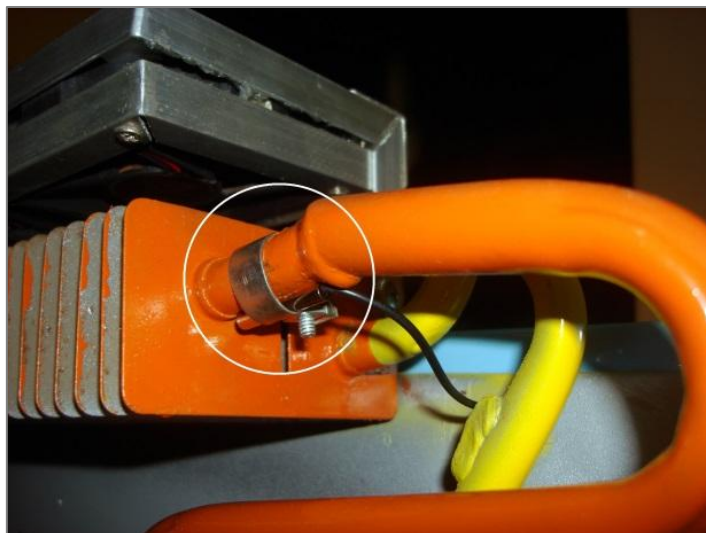


Figura 12. Ponto de medição no condensador

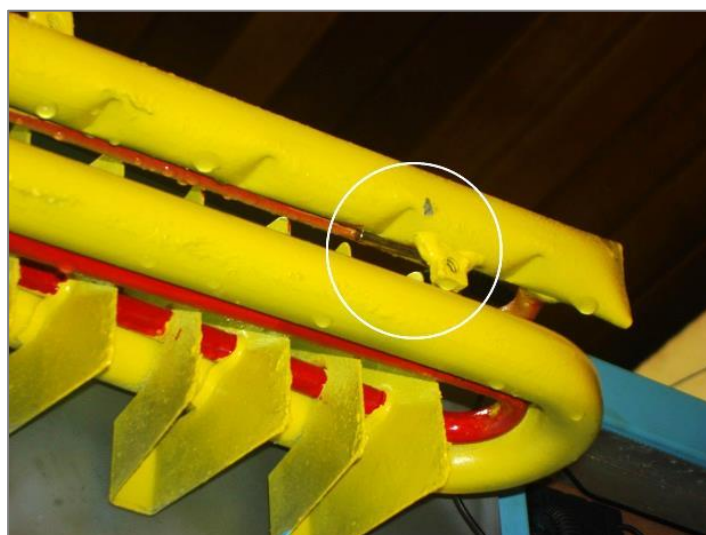


Figura 13. Ponto de medição do evaporador

Montou-se então o painel de comando no canto superior esquerdo da bancada para facilitar a visualização. Nele estão dispostas duas chaves liga/desliga, sendo uma para o acionamento da resistência elétrica do sistema e a outra para ligar a ventilação forçada e a iluminação do painel do diagrama. Também estão dispostos no painel os dois displays marcadores de temperatura incluídos no sistema. O painel foi montado utilizando uma placa de Eucatex com dimensões de 310 mm x 85 mm e revestido com adesivo de vinil (Figura 14).



Figura 14. Painel de comando

Para a fixação do diagrama ilustrativo do processo de absorção foi utilizado uma placa de acrílico leitoso medindo 310 mm de largura por 480 mm de altura fixada sobre cantoneiras de alumínio (Figura 15). Para a iluminação do painel foi utilizado uma fita composta por LED's (light emitting diode) alimentados por uma fonte de 12 V (Figura 16).

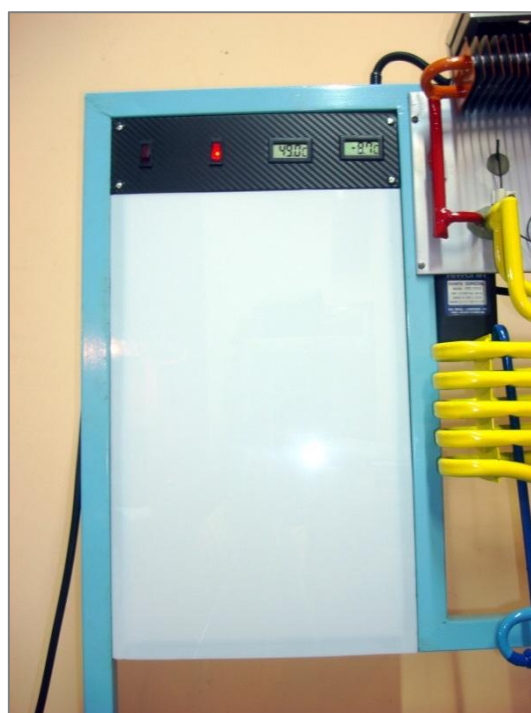


Figura 15. Painel de acrílico



Figura 16. Fita LED

O resultado final da bancada didática pode ser observado nas figuras 17 e 18, já com o diagrama ilustrativo fixado à bancada e com a placa de identificação do projeto.

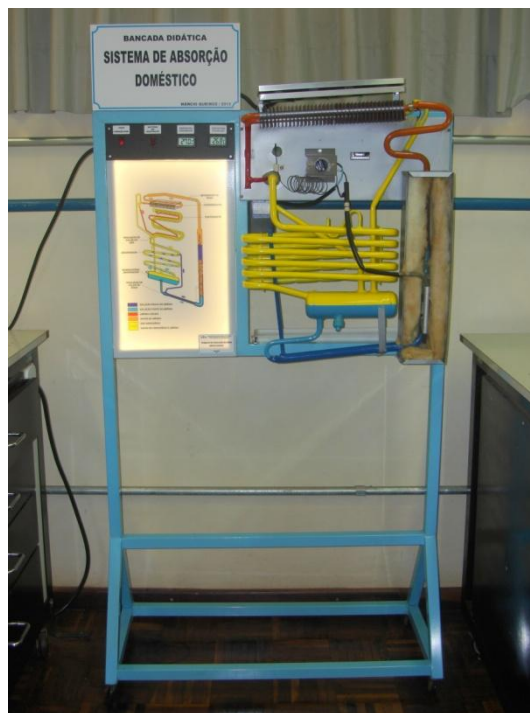


Figura 17. Vista anterior da bancada didática



Figura 18. Vista posterior da bancada didática

4 DISCUSSÃO

Uma vez montada a bancada e seus componentes pintados de cores diferentes, pôde-se entender melhor o sistema de refrigeração por absorção. O objetivo deste capítulo é descrever com detalhes o funcionamento do sistema que só com a construção da bancada ficaram claros.

O sistema de absorção que opera com o par $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ é um dos mais antigos sistemas de refrigeração por absorção. Nesta combinação de pares de fluidos a amônia é o fluido refrigerante e a água o absorvente. (OLIVEIRA JR. et al., 2004).

A refrigeração acontece pelo aquecimento de uma solução composta de água destilada e amônia, em adição ao hidrogênio, para se criar uma pressão parcial no absorvedor e evaporador que permitirá a evaporação da amônia a baixa pressão.

Os detalhes de funcionamento podem ser melhor entendidos seguindo-se a descrição abaixo e a figura 19.

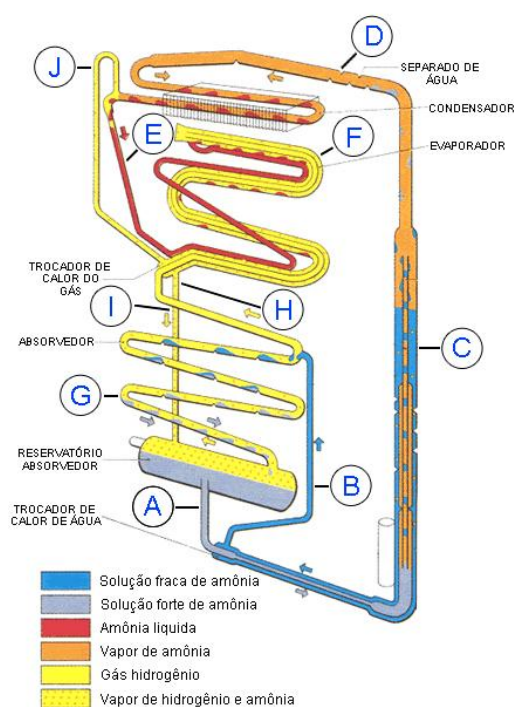


Figura 19. Diagrama de funcionamento

O tubo "A" contém uma solução rica de amônia e água destilada. O tubo "B" contém uma solução pobre em amônia, composta quase que inteiramente de água destilada e mantém o nível de água na entrada do absorvedor. A resistência elétrica fornece uma certa quantidade de calor ao tubo "A". Quando entra no tubo "C", a amônia evapora separando-se da água. A água retorna por fora do tubo "C" e a amônia vai para o condensador. A água é então condensada e retorna ao absorvedor através do tubo "B". Essa solução é chamada de "solução pobre". Subindo pelo tubo "D", a amônia chega ao condensador, onde passa para a fase líquida novamente. Por gravidade, a amônia líquida desce pelo tubo "E", e encontra-se com o gás hidrogênio vindo pelo tubo "F" e ambos vão para o evaporador. O hidrogênio, dentro do evaporador, permite criar uma pressão parcial da amônia suficientemente baixa para obter-se a temperatura de refrigeração desejada. Este princípio da pressão parcial esta baseada na Lei de Dalton. No evaporador a amônia se evapora instantaneamente, em razão da baixa pressão, retirando calor dos alimentos guardados na geladeira. Após a evaporação, a amônia e o hidrogênio descem pelo tubo "I", por gravidade. A amônia e o hidrogênio chegam ao reservatório absorvedor e imediatamente sobem pelo tubo "G". O gás de hidrogênio por ser muito difusível só se apresenta com a amônia na fase gasosa não tendo afinidade com o absorvente. A água condensada no início do processo, no pré-condensador, desce pelo mesmo tubo. Nesse momento a amônia é separada do hidrogênio pela água e então, juntos, retornam ao absorvedor. Sendo bem mais leve, o hidrogênio sobe até o evaporador pelo tubo "F". É por isso que o sistema é chamado de absorção, pois a água tem a característica de absorver a amônia. Os dois tubos em "U" existentes no sistema (na parte interna do tubo "F") servem para manter o gás hidrogênio preso no evaporador e no absorvedor, onde a pressão parcial da amônia deve ser mantida, evitando que o mesmo passe para o lado do separador, gerador e condensador. O tubo "J" é o tubo de compensação. Sua função é a de permitir que a amônia não condensada retorne ao tanque. Essa condição acontece somente quando a temperatura ambiente está muito alta, ou quando o refrigerador está instalado incorretamente. Outro tubo soldado no absorvedor, não mostrado na figura 19, funciona como uma válvula de segurança. Ele está localizado num ponto onde apenas o hidrogênio circula.

Como o hidrogênio é um gás altamente inflamável, ele requer proteção para evitar explosões, em casos de alta pressão, ou temperaturas altas no sistema.

Para melhorar a eficiência do refrigerador por absorção, ou seja, fazer com que ele esfrie mais rápido, foi instalado sobre as aletas dissipadoras de calor do condensador um sistema de ventilação forçada, acionado através de uma chave liga/desliga posicionada no painel de controle.

Utilizou-se de quatro *coolers* de 12 V de computadores por serem silenciosos, econômicos e baratos.

Com a ventilação forçada desligada, a temperatura da amônia na entrada do condensador fica em torno de 55°C, e leva mais de duas horas para atingir a temperatura de -3°C no evaporador. Com o sistema de ventilação forçada ligada a temperatura de entrada da amônia no condensador gira em torno de 44°C, e em 30 minutos o sistema atinge a temperatura de -3°C no evaporador e com uma hora de funcionamento chega aos -8°C. Isto mostra a importância da ventilação forçada na refrigeração por absorção.

5 CONCLUSÃO

Vale ressaltar aqui algumas dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da bancada didática. Uma delas foi com relação à escassez de refrigeradores a gás no mercado, já que a Cònsul não fabrica mais esse tipo de refrigerador, nem mesmo por encomenda.

Outra questão foi quanto à falta de manutenção do refrigerador encontrado, que por ser muito antigo apresentava vários pontos de oxidação, interferindo na eficiência do refrigerador, sendo necessária a realização de uma manutenção restauradora e preventiva.

Destaco também a dificuldade de entendimento do funcionamento do sistema de refrigeração por absorção, pela falta de refrigeradores em funcionamento nos dias de hoje e por ser um sistema fechado e de difícil visualização.

A utilização da bancada didática para um sistema de refrigeração por absorção doméstica, associada ao seu desenvolvimento e montagem, mostrou-se uma ferramenta na descrição detalhada do funcionamento do ciclo de refrigeração, atendendo ao objetivo principal do estudo que é o de auxiliar no processo de ensino e aprendizado dos alunos da UTFPR e de profissionais da área de refrigeração.

Assim a utilização da bancada didática contribuiu na formação profissional de futuros tecnólogos e engenheiros, pois auxilia na compreensão dos fenômenos físicos envolvidos no sistema de refrigeração por absorção, conferindo-lhe conhecimento para atuar na área de refrigeração e no serviço de manutenção.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Estudos sobre o sistema, com relação ao consumo de energia elétrica em comparação aos sistemas atuais que utilizam compressores de vapor;
- A utilização de outras fontes de calor para avaliar o desempenho, bem como a viabilidade econômica;
- A utilização de outros trocadores de calor no sistema para avaliar o performance deles e do sistema como um todo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMÉN, C. G. **Gas absorption refrigerator technology**. Disponível em: <http://absreftec.com/chapter1>. Acesso em 01 de fevereiro de 2013.

CARVALHO, P. S. G. **Estudo aplicado de ACV a ciclo de refrigeração por absorção: análise do ciclo de vida**. Ed. rev. São Paulo, 2010.

DORGAN, C. B., LEITHT, S. P., DORGAN, C. E. **Application guide for absorption cooling/ refrigeration using recovered heat**. USA: ASHRAE. 1995, 186p.

OLIVEIRA JR., S., TRIBESS, A., NETO, A. H., FIORELLI, F. A. S. **Sistemas de refrigeração por absorção**. São Paulo, 2004).

POHLMAN, W. **Manual de técnica frigorífica** (traduzido para o espanhol). Espanha Barcelona: Ediciones Omega (s.d.)

REFRIGERAÇÃO, Portal da. **História da refrigeração**. 2011. Em <www.refrigeração.net>. Acesso em 01 de fevereiro de 2013.

STHEPAN, K. **History of absorption heat pumps and working pair developments in Europe**. Int. Journal of Refrig., v.6, p. 160-166, maio, 1983.

ZUKOWSKI JR., J. C. **Estudo de sensibilidade em um sistema de refrigeração por absorção água-amônia**. Campinas, SP: [s.n.], 1999.