

CICLO DE ABSORÇÃO INTERMITENTE ÁGUA-AMONÍACO PARA PRODUÇÃO DE GELO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Rosa A.^{1*}, Garcia J.M.²

1: Escola Superior de Tecnologia de Setúbal/IPS
Campus do IPS, Estefanilha, 2760-761 Setúbal
e-mail: armandoj.rosa@gmail.com

2: Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal/IPS
Campus do IPS, Estefanilha, 2760-761 Setúbal
e-mail: joao.garcia@estsetubal.ips.pt: <http://www.empresa.pt>

Resumo *O presente artigo refere-se à conceção e dimensionamento de um sistema de refrigeração de pequena potência para produção de gelo em barra utilizando energia solar térmica, através de um sistema de absorção de ciclo intermitente com uma mistura água-amoníaco (H_2O-NH_3). Este equipamento, vem no sentido de minimizar os problemas que se verificam em locais que não dispõem de rede elétrica para a alimentação de sistemas de refrigeração convencionais de forma a conservar produtos perecíveis ali produzidos ou armazenados bem como medicamentos (vacinas), nomeadamente para certas regiões de África. O sistema em estudo divide-se em duas partes, o sistema de refrigeração de absorção de ciclo intermitente, que utiliza uma solução binária água-amoníaco (H_2O-NH_3), em que a água é o absorvente e o amoníaco o refrigerante e o Sistema solar térmico, constituído por coletores térmicos planos do tipo CPC ou tubos de vácuo em que a energia solar aquece a água que circula no circuito primário. No sistema de refrigeração por absorção, a circulação ocorre de forma natural devido à afinidade dos fluidos e pela variação interna de temperatura e pressão. O presente artigo apresenta os pressupostos de conceção, calculo e dimensionamento para a construção do sistema.*

Palavras-chave: Produção de Gelo, Sistemas de refrigeração, Ciclo de absorção intermitente, Energia solar térmica.

1. INTRODUÇÃO

A refrigeração nos nossos dias está geralmente associada a sistemas mais ou menos sofisticados e complexos. No entanto, desde a pré-história que se conhece a importância das baixas temperaturas, armazenando comida em cavernas com paredes húmidas, no sentido de conservá-la aproveitando o efeito de arrefecimento natural [1]. Desde esses tempos e até ao início do século XX, os povos recolhiam o gelo natural durante o Inverno e armazenavam-no em adegas e mais tarde em locais com condições que permitiam manter o gelo por um ano ou mais [1]. Em meados do século XIX, os Estados Unidos, e a Europa comercializavam já importantes quantidades de gelo natural. O desenvolvimento da refrigeração moderna como a conhecemos hoje, iniciou-se no entanto, nos finais do século XIX. No processo de refrigeração mais comum, uma substância designada por fluido frigorigéneo é sujeita a uma sequência de fases, das quais resulta uma diminuição na temperatura deste fluido de forma a retirar calor de fluidos ou corpos que necessitam de ser arrefecidos. Nos nossos dias, os principais métodos de refrigeração utilizados são o ciclo de compressão de vapor, o ciclo de absorção, o ciclo de ar, o jato de vapor e o sistema termoelétrico [2]. O conhecido ciclo de compressão de vapor tem uma grande gama de aplicações que podem ir desde sistemas de refrigeração domésticos até grandes sistemas industriais. Já os sistemas de refrigeração de ciclo de absorção necessitam, para o seu acionamento, de uma fonte quente a uma temperatura elevada, sendo deste modo um processo interessante quando se dispõe de uma fonte térmica importante como a energia solar. Nestes sistemas é utilizada uma solução binária líquida, constituída pelo fluido frigorigéneo e pelo absorvente. O fluido frigorigéneo deverá ter uma afinidade química elevada com o absorvente. Os sistemas de absorção são economicamente viáveis, quando existe uma fonte de energia térmica barata a temperaturas adequadas [3].

2. MOTIVAÇÃO

Atualmente, o frio quer seja na sua vertente de refrigeração quer seja na sua vertente de congelação é a técnica mais usada pela humanidade na conservação de produtos perecíveis, bem como na conservação de vacinas. A conservação pelo frio pode mesmo ser considerada como uma técnica imprescindível à subsistência humana nos padrões em que a humanidade vive. Nos sistemas de refrigeração, o recurso ao uso de energia solar pode constituir uma solução viável para locais onde a energia elétrica obtida através de fontes convencionais não está disponível mas que, no entanto, possuam irradiação solar abundante, nomeadamente em zonas remotas e de difícil acesso, perto dos trópicos. Logo a aplicação de sistemas de refrigeração por absorção com recurso à energia solar, como fonte térmica, podem ser uma solução com um grande potencial de sucesso para responder às necessidades destas zonas em desenvolvimento, nomeadamente na produção de gelo para conservação de produtos perecíveis, pescado, vacinas, etc. Deste modo, um sistemas de refrigeração por absorção com recurso à energia solar como fonte térmica de acionamento do ciclo de baixo custo torna-se bastante interessante, pelo facto de prescindir de energia elétrica e poder utilizar uma mistura binária amiga do ambiente, como é o caso da água-amoníaco (H_2O-NH_3). O uso da energia solar como fonte térmica para acionar o ciclo do sistema de refrigeração apresenta também vantagens muito interessantes, tais como: fonte de energia gratuita, confiável, limpa, inesgotável, não apresenta riscos aos utilizadores, e é de relativa facilidade de obtenção.

3. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

3.1. Objetivo

O equipamento desenvolvido consiste num pequeno sistema de refrigeração de absorção de ciclo intermitente com recurso a energia solar, de baixo custo, em que o fluido de trabalho é uma mistura binária de água-amoníaco (H_2O-NH_3) para produzir gelo para conservação de produtos perecíveis e vacinas. A sua aplicação preferencial será em áreas em vias de desenvolvimento, com baixos recursos económicos e com carências de energia elétrica distribuída pelos métodos tradicionais. A opção pela solução binária água-amoníaco (H_2O-NH_3) deve-se ao facto de esta mistura possuir características e vantagens bastantes atrativas para esta aplicação, nomeadamente: i) O amoníaco tem uma temperatura de evaporação $-33,3\text{ }^\circ\text{C}$ à pressão atmosférica, tem elevada capacidade de refrigeração, não contribui para a destruição da camada de ozono ($ODP=0$), não produz emissões de gases de efeito estufa ($GWP=0$) e tem elevada afinidade com a água; ii) A água é uma fonte limpa, abundante, renovável, barata, não tóxica, não poluente, não contribui para a destruição da camada de ozono ($ODP=0$), produz zero emissões de gases de efeito estufa ($GWP=0$) e é um bom absorvente do amoníaco. O recurso á energia solar como fonte térmica para o sistema de refrigeração deve-se ao facto dos países onde se pretende instalar este equipamento terem elevada irradiação solar e insuficiência no abastecimento de energia elétrica pública. O funcionamento do sistema é de ciclo intermitente (geração diurna e refrigeração noturna). O arrefecimento do condensador é efetuado por convecção natural a água. Como fonte térmica a aplicar ao gerador utilizou-se a energia térmica (calor) obtida através de coletores solares estacionários do tipo CPC ou Tubo de vácuo. Foram estudados estes dois tipos de coletores pelo facto de serem utilizadas temperaturas relativamente elevadas, com reduzidas perdas.

3.2. Conceção do Sistema de produção de Gelo

Neste ciclo de absorção (H_2O-NH_3), a fonte de calor utilizada para aquecer o fluido de trabalho que se encontra no gerador provém da energia solar incidente sobre um ou vários coletores solares. O funcionamento do sistema é de regime intermitente, durante o dia solar dá-se a geração e durante a noite a refrigeração, não sendo utilizado qualquer outro tipo de energia a não ser a solar. O sistema desenvolvido é constituído por dois subsistemas, o solar e o de refrigeração por absorção. Os principais componentes necessários ao seu funcionamento são os apresentados na Figura 1.

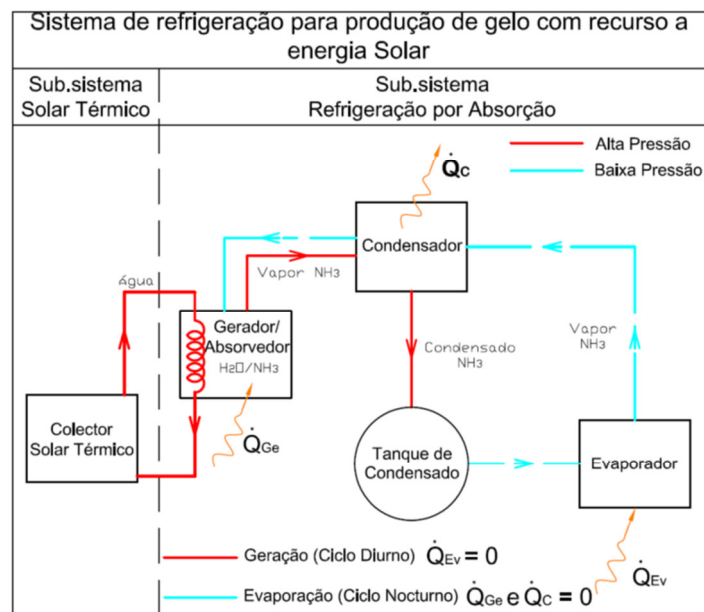


Figura 1 - Diagrama do sistema e subsistemas de refrigeração para produção de gelo com recurso a energia solar

Os componentes que constituem o referido sistema são: Coletor solar térmico, Tubagens do subsistema solar térmico, Gerador/ Absorvedor, Condensador, Tanque de condensado, Caixa térmica e Evaporador, Dispositivo de laminagem, Retificador e Tubagens do subsistema de refrigeração.

No ciclo diurno de geração (figura 2), a mistura forte água-amoníaco com uma concentração de 0,45 de amoníaco, localizada no gerador/ absorvedor, ao ser aquecida pelo fornecimento de calor do sistema solar térmico faz com que a temperatura e pressão aumentem até atingirem o ponto de saturação da mistura à pressão de condensação (P_c) (etapa 1-2), controlado pela válvula regulável de pressão. Seguidamente, a temperatura continua a aumentar, iniciando-se a separação/ evaporação do amoníaco da solução até atingir uma concentração de 0,25 (etapa 2-3). Ainda nesta etapa, o vapor de amoníaco que sai do gerador passa pelo retificador e pela válvula antirretorno. O retificador permite garantir maior pureza ao vapor de amoníaco. Seguidamente o vapor de amoníaco é encaminhado para o condensador, onde ao dissipar calor para um meio menos quente (água) condensa, sendo depois armazenado no tanque de condensado, até se dar início à fase de Refrigeração. Neste ciclo não há passagem do amoníaco ao evaporador pelo facto das válvulas a montante e jusante do mesmo serem do tipo antirretorno e logo não permitirem o sentido inverso.

No ciclo noturno (figura 3) ocorre quando a temperatura e pressão do gerador/ absorvedor diminui até à pressão do evaporador (P_e) (etapa 3-4). A partir daqui pode então ser iniciado este ciclo, abrindo a válvula regulável de laminagem a montante do evaporador, permitindo assim que o amoníaco, em fase líquida e armazenado no tanque de condensado, entre no evaporador à pressão (P_e) e arrefeça a caixa térmica removendo o calor ali existente e acabe por retornar ao gerador/ absorvedor (etapa 4-1) onde se mistura com a solução devido à sua elevada afinidade com a água. Neste sentido, também existem válvulas anti-retorno que controlam a passagem do amoníaco.

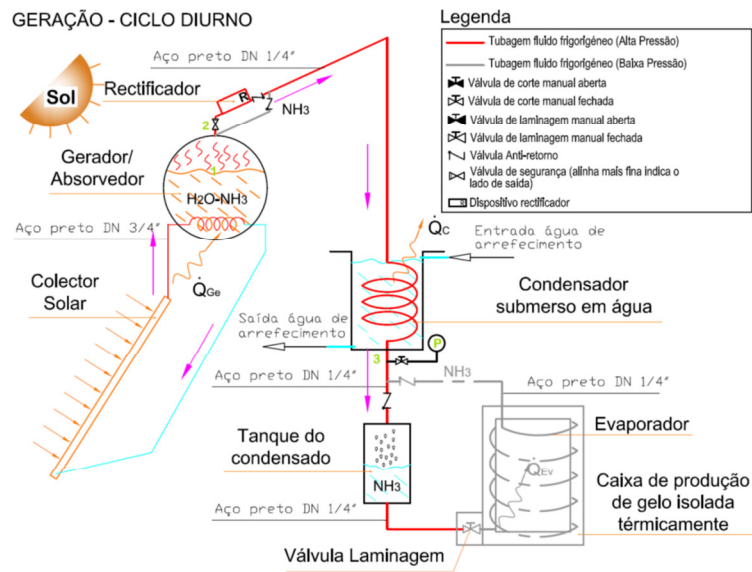


Figura 2 - Esquema da fase de Geração do sistema - Ciclo diurno

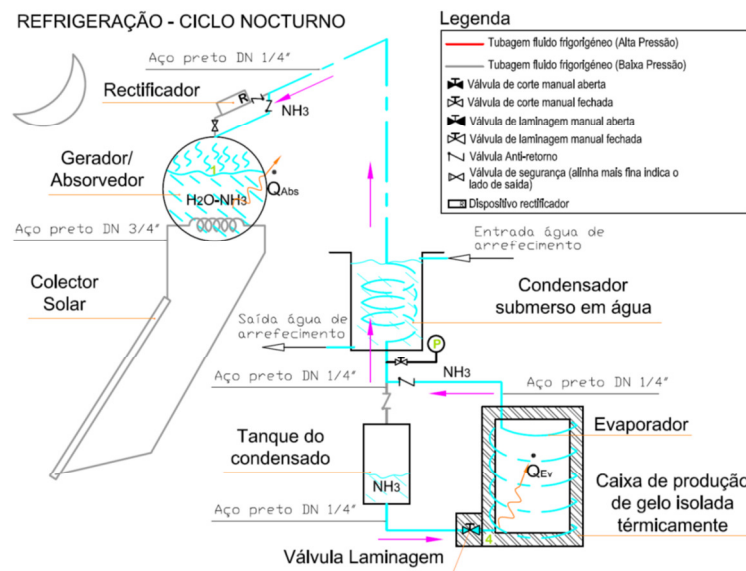


Figura 3 - Esquema da fase de Geração do sistema - Ciclo nocturno

3.3. Pressupostos de dimensionamento

Sendo o objetivo do sistema de refrigeração a produção de gelo, adotaram-se como pressupostos para o cálculo da potência frigorífica, os indicados na tabela 1:

Tabela 1 - Potência frigorífica (Q_{Frig}) para um período de funcionamento de 12 horas

| Período de funcionamento | | C.M. | Q_{Frig} | |
|--------------------------|------------|--------|-------------------|---------------|
| [horas] | [segundos] | [kg/s] | [kW] | [W] |
| 12 | 43200 | 0,0003 | 0,132 | 132,34 |

Para o cálculo da potência solar necessária ao sistema de refrigeração, considerando um COP igual a 0,5 [4]. Este valor de COP foi admitido, pelo facto de ser um próximo do apresentado na literatura para sistemas de refrigeração por absorção de ciclo contínuo. Depois de conhecidas as necessidades energéticas, para cada mês do ano, para que o sistema de refrigeração por absorção funcione, efetuou-se o dimensionamento do sistema solar capaz de responder a estas necessidades, utilizando coletores CPC ou Tubo Vácuo.

Tabela 2 - Potência solar e necessidades energéticas mensal e energia captada por mês efetiva (Julho)

| Potência solar e das necessidades energéticas mensal | | | | Energia efetiva captada | | |
|--|-----------------------|-------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Mês | Q_{Frig} [W] | Potência solar necessária [W] | Necessidades energéticas mensal - En.m [MJ] | Nº Coletores efetivos | Coletor CPC Ecol.e [MJ] | Coletor Tubo Vácuo Ecol.e [MJ] |
| Julho | 132,34 | 264,67 | 354,45 | 1 | 426,91 MJ | 715,12 MJ |

Pela tabela 2 verifica-se que para satisfazer as necessidades do mês de Julho, para a zona considerada, é necessário apenas 1 coletor para ambos os tipos, no entanto, o coletor tipo tubo de vácuo garante o dobro das necessidades requeridas. Para comparação dos dois tipos de coletores solares aplicados (Coletor CPC vs Coletor Tubo de vácuo) neste estudo são apresentados dois gráficos que mostram a curva das necessidades energéticas do sistema de refrigeração, a curva da energia captada por mês efetiva e a curva da energia captada por mês normal.

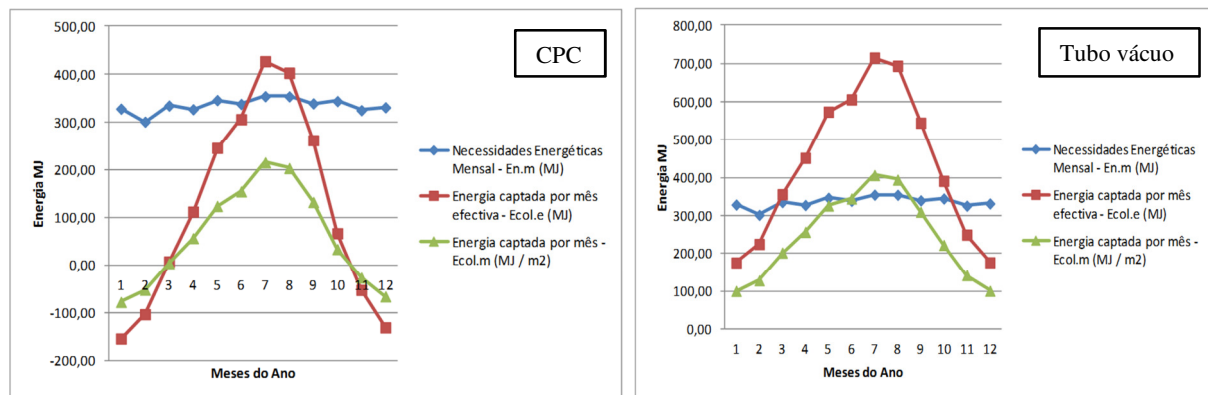


Figura 4 - Comportamento do sistema térmico solar com coletores CPC versus coletores tubo vácuo

Verifica-se que para a maioria dos meses do ano, um coletor do tipo tubo de vácuo é suficiente para extrair a energia necessária ao sistema, com exceção dos dois primeiros e últimos meses do ano (figura 4). Verifica-se que este tipo de coletor acoplado ao sistema de refrigeração por absorção será mais adequado que o do tipo CPC, sendo no entanto de custo mais elevado. Do dimensionamento do sistema de refrigeração são apresentados os diagramas de *Duhring* e de *Merkel-Bosnjakovic*, (figura 5), para a solução amoníaco-água, bem como o Diagrama de Mollier, (figura 6), para o amoníaco (NH_3).

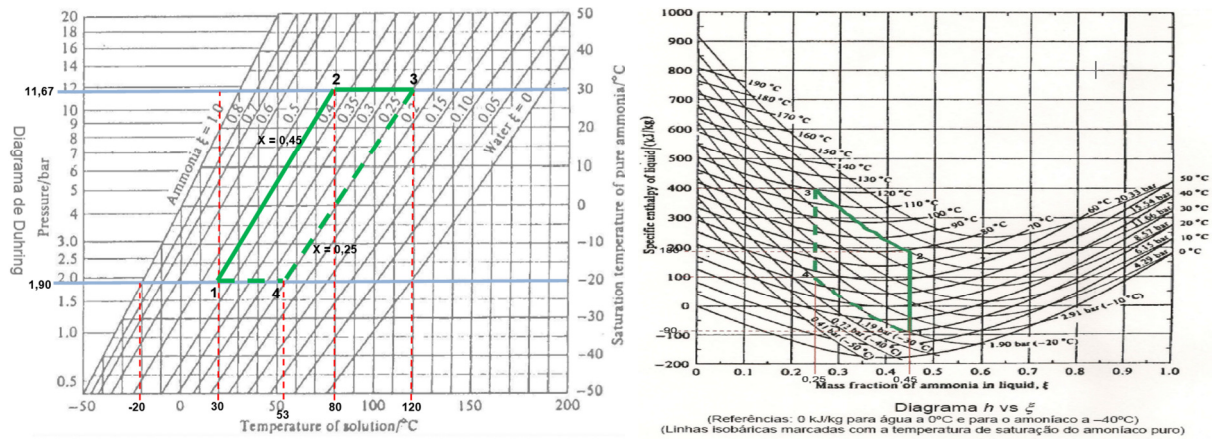


Figura 5 - Diagramas de *Dühring* e *Merkel-Bosnjakovic*

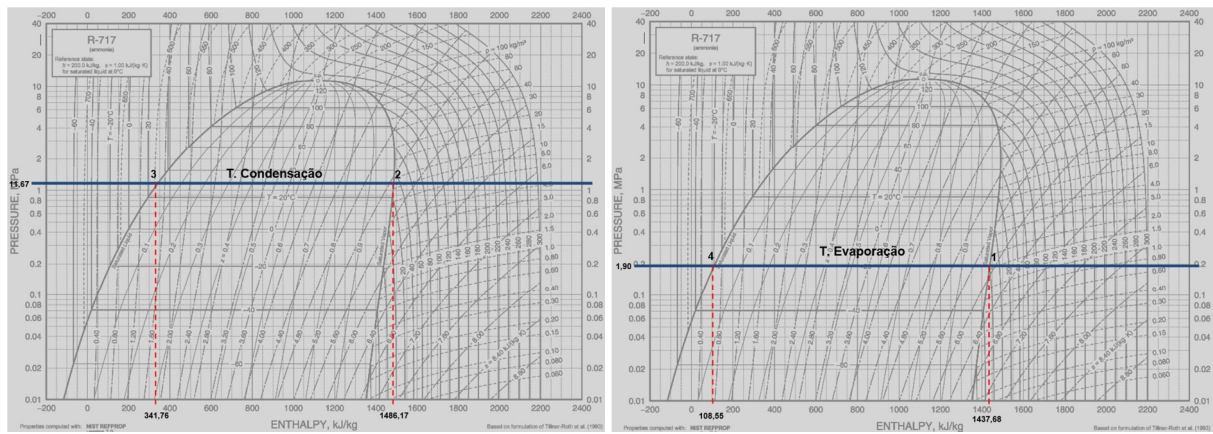


Figura 6 - Obtenção da temperatura de evaporação e condensação do sistema pelo Diagrama de Mollier

Na tabela 3 é apresentado o resumo dos balanços energéticos dos diferentes componentes do sistema:

Tabela 3 - Tabela resumo dos balanços energéticos nos diferentes componentes do sistema

| | Evaporador | Absorvedor | Gerador | Condensador |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Temperatura Equip. [°C] | -20 | 22 | 120 | 30 |
| Pressão Equip.[Bar] | 1,9 | 1,9 | 11,67 | 11,67 |
| Entalpia Ent. [kJ/Kg] | 108,55 | 100 | 180 | 1486,17 |
| Entalpia Saída. [kJ/kg] | 1437,68 | -90 | 400 | 341,76 |
| Caudal Mássico [kg/s] | $1,0 \times 10^{-4}$ | $1,0 \times 10^{-4}$ | $1,6 \times 10^{-4}$ | $1,6 \times 10^{-4}$ |
| Potência Frigorífica [W] | 132,34 | --- | --- | --- |

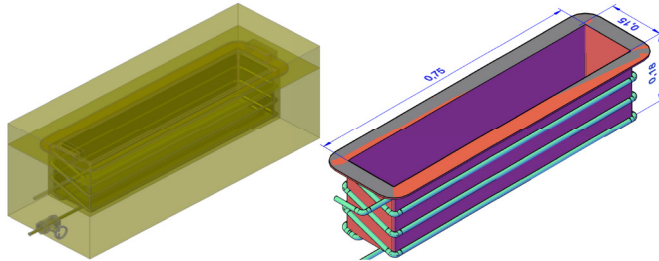


Figura 7 - Dimensões da caixa térmica/ evaporador

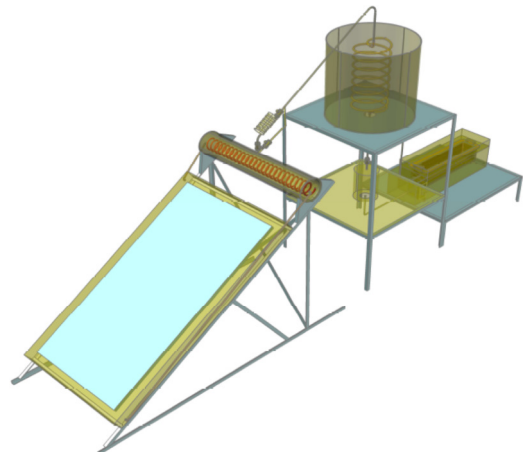


Figura 8 - Máquina de produção de gelo

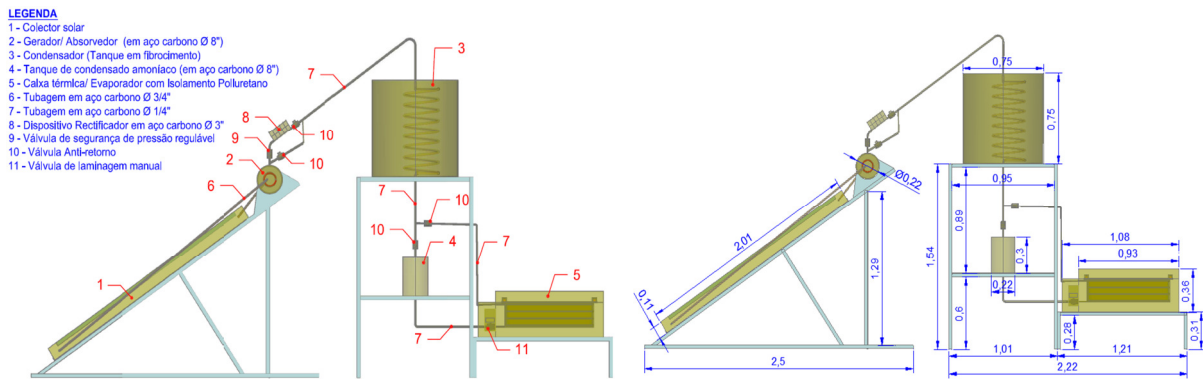


Figura 9 - Máquina de produção de gelo - Vista lateral e designação de componentes e cotagem

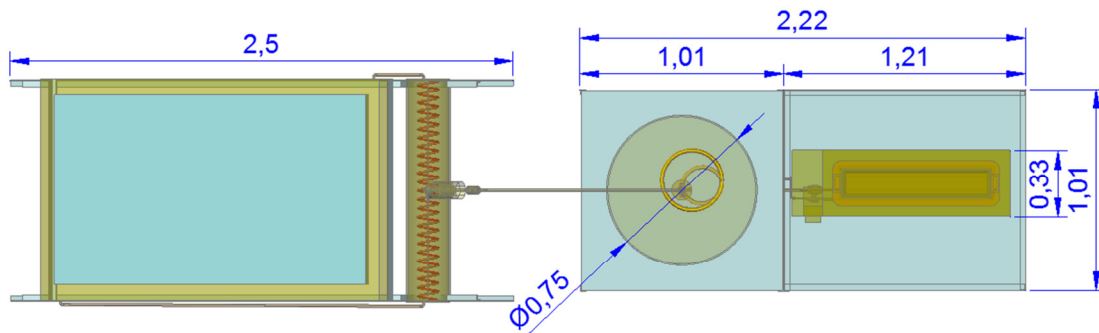


Figura 10 - Máquina de produção de gelo – Planta e cotagem

4. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um sistema de refrigeração de pequena potência recorrendo a um ciclo de absorção em regime intermitente com uma solução binária água-amoníaco (H_2O-NH_3), e energia solar térmica, para ser aplicado em zonas habitadas remotas e isoladas, que apresentem radiação solar importante. O sistema destina-se à conservação de produtos perecíveis e vacinas, sendo de construção relativamente simples e de baixo custo. A opção pela solução água-amoníaco deveu-se ao facto destes dois fluidos

possuem características ambientais muito favoráveis, nomeadamente, ODP=0 e GWP=0. O recurso à energia solar como fonte térmica para o sistema de refrigeração deve-se ao facto dos países onde se pretende instalar este equipamento disporem de elevada irradiação solar. A conceção e dimensionamento permitem concluir que, teoricamente, o sistema de refrigeração de ciclo de absorção cumpre com o seu objetivo, o qual consiste na produção de barras de gelo para as necessidades consideradas. O sistema solar térmico, de conceção simples, e que está acoplado ao sistema de refrigeração foi estudado com coletores do tipo CPC e tubos de vácuo, tendo o segundo apresentado melhores resultados para satisfazer as necessidades requeridas pelo sistema de refrigeração para os meses em que as temperaturas são mais elevadas e mais necessidade de conservação de produtos é necessário. Os coletores de tubo de vácuo apresentaram melhores resultados, verificando-se que um coletor do tipo tubo de vácuo é suficiente para produzir a energia necessária a fornecer ao sistema de refrigeração para a produção de gelo, no entanto, esta tecnologia pode tornar-se menos interessante pelo facto de hoje em dia ainda apresentar custos de aquisição bastante elevados. Conclui-se, assim, ser possível conceber um equipamento de refrigeração de absorção de baixo custo e ambientalmente favorável utilizando energia solar como fonte térmica do sistema. Encontra-se em fase de implementação e construção um protótipo deste sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] Gosney, W. B. Principles of refrigeration. , Press Syndicate of the University of Cambridge, 1982. ISBN 0 521 23671 1.
- [2] IN.EL, E. E. Absorption Refrigeration Trainer. unk.
- [3] SOCIETY, R. A.; ENGINEERS, I. A.-C. 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)-Chapter 2. [S.l.]: ASHRAE, 2009. Chapter 2 p. ISBN: 1933742550.
- [4] YUNUS, Ç. A.; MICHAEL, B. A. Termodinâmica. 5. ed. [S.l.]: McGrawHill, 2007.