

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA
ENGENHARIA MECÂNICA**

Francisco Mikael Alves da Silva

**PROJETO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO POR
ADSORÇÃO QUE UTILIZA O PAR DE TRABALHO CARVÃO ATIVADO E
ETANOL**

Manaus AM

2021

Francisco Mikael Alves da Silva

**PROJETO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO POR
ADSORÇÃO QUE UTILIZA O PAR DE TRABALHO CARVÃO ATIVADO E
ETANOL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares

Manaus AM

2021

Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro

S586p Silva, Francisco Mikael Alves da.
Projeto de um sistema de refrigeração e climatização por adsorção que utiliza o par de trabalho carvão ativado e etanol / Francisco Mikael Alves da Silva. – Manaus, 2021.
70 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro, 2021.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares.

1. Engenharia mecânica. 2. Energia solar. 3. Impacto ambiental. I. Soares, José Josimar. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Título.

CDD 621

Francisco Mikael Alves da Silva

**PROJETO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO POR
ADSORÇÃO QUE UTILIZA O PAR DE TRABALHO CARVÃO ATIVADO E
ETANOL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Josimar Soares

Aprovado em: 08 de abril de 2021

BANCA EXAMINADORA

(Assinado digitalmente em 10/04/2021 17:50)

JOSE JOSIMAR SOARES

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matricula: 1961168

(Assinado digitalmente em 10/04/2021 09:02)

JOSE FRANCISCO DE CALDAS COSTA

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matricula: 267706

(Assinado digitalmente em 11/04/2021 06:53)

JOAO NERY RODRIGUES FILHO

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matricula: 267939

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.ifam.edu.br/documentos/> informando seu número: 65, ano: 2021, tipo: ATA, data de emissão: 09/04/2021 e o código de verificação: bf81c310ca

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram e me deram forças em todos os momentos da vida.

Agradeço a todos os professores e colegas do IFAM que me ajudaram a dar passos largos no título de bacharel em engenharia mecânica.

Agradeço especialmente ao orientador, professor e doutor José Josimar Soares que me apoiou e me incentivou a concluir este trabalho.

"O que fazemos em vida ecoa na eternidade" (Rogers Prates)

RESUMO

Este projeto busca o realizar o projeto de um sistema de resfriamento alternativo, onde será dimensionado todos os componentes de um protótipo em escala de laboratório de um sistema de resfriamento por adsorção utilizando o par de trabalho carvão ativado e etanol. O sistema proposto utiliza o princípio de um motor quadritérmico em substituição ao compressor usado em equipamentos de climatização convencionais por compressão a vapor. Portanto, o seu funcionamento independe de energia elétrica, pois utiliza energia solar e utiliza fluido refrigerante de baixo impacto ambiental. Na busca por uma melhor performance será dimensionado um novo reator, através do aumento da área de contato e a redução da inércia térmica do reator. Dessa forma com a confecção deste sistema será possível obter um resultado compatível ao estado da arte de modelos com mesmas características técnicas e condições de operação.

Palavras-chave: Refrigeração por Adsorção; Impacto Ambiental; Energia Solar.

ABSTRACT

This project seeks to carry out the design of an alternative cooling system, where all the components of a laboratory scale prototype of an adsorption cooling system using the activated carbon and ethanol working pair will be dimensioned. The proposed system uses the principle of a four-motor engine to replace the compressor used in conventional air conditioning equipment by steam compression. Therefore, its operation does not depend on electrical energy, as it uses solar energy and uses refrigerant with low environmental impact. In the search for better performance, a new reactor will be designed, by increasing the contact area and reducing the thermal inertia of the reactor. Thus, with the making of this system, it will be possible to obtain a result compatible with the state of the art of models with the same technical characteristics and operating conditions.

Keywords: Adsorption refrigeration; Environmental impact; Solar energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trocador de calor	22
Figura 2. Tipos de AC solar.....	25
Figura 3. Sistemas de refrigeração solar.....	26
Figura 4. Representação esquemática da máquina de refrigeração a adsorção	28
Figura 5. Representação do ciclo de refrigeração por adsorção com um (a) e dois reatores (b)	29
Figura 6. Ciclo a adsorção em um diagrama de Clapeyron.....	29
Figura 7. Representação do chiller por adsorção com tubo aletado	31
Figura 8. Ciclo de Adsorção para um reator.....	34
Figura 9. Chiller por adsorção com 2 reatores.....	34
Figura 10. Trocador de calor por escoamento cruzado	36
Figura 11. O-ring do reator.....	37
Figura 12. Flange do Reator	37
Figura 13. Reator por adsorção.....	38
Figura 14. Tubo do condensador	38
Figura 15. Flange do Condensador.....	39
Figura 16. Entradas de fluidos do condensador.....	40
Figura 17. O-ring do Condensador	40
Figura 18. Condensador.....	41
Figura 19. Conexões do evaporador	42
Figura 20. Flange do Evaporador	42
Figura 21. Evaporador	43
Figura 22. Montagem dos reatores com o condensador	44
Figura 23. Sistema de refrigeração por adsorção	45
Figura 24. Planta de potência a vapor.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de componentes para o sistema com 1 reator	33
Tabela 2. Lista de componentes para o sistema com 2 reatores	35
Tabela 3. Custos de implementação do sistema	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais pares de trabalho de adsorção	27
Quadro 2. Componentes de um ciclo de refrigeração por adsorção	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA.....	17
2.2	ESTUDO DE MODELAGEM EM REFRIGERAÇÃO	22
2.3	ENERGIA SOLAR.....	25
2.4	CONCEITOS BÁSICOS.....	26
2.5	CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1	CHILLER COM 1 REATOR	31
3.2	LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES.....	32
3.3	CHILLER COM 2 REATORES.....	34
3.4	DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES	35
3.4.1	Reator.....	36
3.4.2	Condensador.....	38
3.4.3	Evaporador.....	41
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	44
4.1	MODELAGEM 3D DO SISTEMA	44
4.2	ANALISE ECONÔMICA FINANCEIRA DO SISTEMA.....	45
4.2.1	Reator.....	45
4.2.2	Condensador.....	46
4.2.3	Evaporador.....	46
4.2.4	Outros Componentes	46
4.3	APLICAÇÕES DO SISTEMA.....	47
4.3.1	Residências.....	48
4.3.2	Indústrias.....	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
6	REFERÊNCIAS	51
7	APÊNDICE	59
7.1	DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES DO REATOR.....	59
7.2	DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES DO CONDENSADOR.....	63
7.3	DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES DO EVAPORADOR.....	67
8	ANEXO	71
8.1	TERMO DE COMPROMISSO DO ORIENTADO.....	71

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de refrigeração e climatização é reconhecido como um meio vital para a sustentabilidade, devido à sua importância para atender às necessidades humanas fundamentais, onde tais sistemas são responsáveis por proporcionar conforto térmico, refrigeração de fluidos e até mesmo o resfriamento de equipamento de centrais de geradoras de energia. Entretanto sistemas usuais de refrigeração agridem o meio ambiente devida a alta emissão de gases. Dessa forma, busca-se sempre soluções de sistemas mais eficientes e que reduzam os impactos ambientais. Assim sistema de refrigeração por adsorção é uma ótima alternativa para o tema.

Os sistemas de refrigeração mais usuais utilizam o mecanismo de compressão de vapor, os quais estão, principalmente, relacionados à escolha dos fluidos refrigerantes, que geram alguns impactos ambientais, tais como emissões de gases de efeito estufa (GEE); depleção da camada de ozônio e o elevado consumo de energia elétrica (UNEP, 2015). Dessa forma, têm-se os principais fluidos, que não são sustentáveis, utilizados na refrigeração por compressão de vapor, tais como os HCFCs (hidroclorofluorcarbonos), HFC (hidrofluorcarbonetos) e, em especial, os CFCs (clorofluorcarbonetos) que, quando liberados para a atmosfera, provocam o efeito estufa e degradam a camada de ozônio que protege o nosso planeta das radiações nocivas provenientes dos raios solares, quantificados pelos indicadores ODP (*Ozone Depletion Potential*¹) e GWP (*Global Warming Potential*²). De acordo com o relatório da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PENUMA), os hidrofluorcarbonetos são um dos maiores agentes geradores de efeito estufa e têm uma vida longa na atmosfera, passando a ser a parte mais agravante do problema das mudanças climáticas globais (VODIANITSKAIA, 2016).

Sistemas atuais de refrigeração e climatização utilizam em sua grande maioria compressores como fonte para comprimir o fluido refrigerante, o qual gera consequências em seu uso, como grande consumo de energia e alguns impactos ambientais, como depleção da cama de ozônio e emissões de gases de efeito estufa (VODIANITSKAIA, 2016).

O uso de sistemas de climatização no Brasil se faz muito necessário devido as altas temperaturas que os seus estados sofrem. Assim o consumo de energia elétrica é um fator que faz com que por muita das vezes pessoas de baixa renda não usufruem do conforto térmico, devido ao alto consumo que tais sistemas consomem. Segundo o estudo da Empresa de Pesquisa

¹ Ozone Depletion Potential: Potencial de Destruição do Ozônio.

² Global Warming Potential: Potencial de Aquecimento Global.

Energética (EPE, 2017), o consumo de energia elétrica residencial teve um aumento de 3,2%, em relação ao ano anterior, os quais podem ser relacionados ao uso excessivo de sistemas de climatização, devido as altas temperaturas que as cidades atingiram (BARRETO; RAFAEL, 2018). Em consequência do uso cada vez mais excessivos de sistemas de climatização, tanto para uso residencial como para industrial, a emissão de gases poderá vir a ser um problema crescente, de olho nesse cenário medidas foram tomadas, como o acordo de Paris, no qual 197 partes expressaram o objetivo de reduzir tais emissões de gases o mais rápido possível (VODIANITSKAIA, 2016).

Neste momento de incerteza da matriz energética nacional e riscos de mudanças climáticas originados pelas ações antropogênicas, tem-se como desafio o desenvolvimento de sistemas alternativos que possa proporcionar o conforto térmico, ambientalmente sustentável, com baixo consumo de energia elétrica ou, até mesmo, a redução do consumo nas horas de pico, além do uso correto dos sistemas de ar condicionados e refrigeração, que estão diretamente ligados ao crescimento da economia e da qualidade de vida da sociedade. Dessa forma, face aos cenários apresentados, o desenvolvimento de novas alternativas que possam contribuir para solucionar essas problemáticas, tais como um sistema de resfriamento por adsorção, proposto neste projeto, pode progredir como uma alternativa estratégica e economicamente viável, para fins de climatização, visto que é capaz de realizar aproveitamento da energia térmica em baixo nível de temperatura (60~90) para regenerar o sistema, o qual é compatível com o uso de coletores solares do tipo plano ou de calor residual de rejeitos térmicos, normalmente desperdiçados nos processos industriais ou sistemas híbridos (LEITE et al., 2007 apud VODIANITSKAIA 2016). Como também, por serem mais ecológicos em termos de uso de refrigerante e demanda de energia (LUO et al., 2006; RIFFEL et al., 2010 apud SOARES, 2017).

Por isto, as pesquisas com sistemas utilizando esse par de trabalho sílica gel/água na perspectiva de alcançar melhores desempenhos (REZK, 2012; MITRA et al., 2015 apud SOARES, 2017). que vão desde chillers comerciais, sistemas com ciclos avançados em cascata ciclos com valores de COP³, de até 1,1 (Uyun et al., 2009 apud SOARES, 2017). Recentemente, um sistema um sistema de resfriamento por adsorção birreator foi desenvolvido no Laboratório da UFPB/CEAR com uma potência específica (SCP⁴) de aproximadamente 0,81W/kg com 0,7 de

³ COP: Coeficiente de Desempenho.

⁴ SCP: Potência Específica de Refrigeração.

coeficiente de desempenho (COP) utilizando o par de trabalho sílica gel/água e um reator tubo concêntrico (SOARES, 2017).

A justificativa deste trabalho parte da necessidade de reduzir impactos ambientais e econômicos para que indústrias e países possam estar dentro do acordo de Paris, visando a grande quantidade de sistema de refrigeração por compressores de ar que geram alto impacto ambiental. Este trabalho buscará trazer um sistema de refrigeração por adsorções que diferente dos sistemas por absorção, este sistema não utiliza um compressor de ar e sim um reator adsorativo, assim será dimensionado um reator, um condensador e um evaporador, buscando assim o estado da arte para confecção de tal sistema. Assim o uso de um sistema de refrigeração por adsorção pode vir a ser a chave para reduzir tais problemas, pois o chiller utilizará energia solar em seu reator e o etanol como fluido refrigerante, o qual é autossustentável e gera menos emissões de gases (VODIANITSKAIA, 2016).

Este trabalho tem como objetivo principal, propor um sistema de refrigeração por adsorção, visando trabalhos anteriores, onde foram alcançados resultados significativos. Dessa forma o sistema será baseado nos sistemas já realizados por Vodianitskaia em 2016 e Soares também em 2017, com a diferença principalmente no trocador de calor, onde neste trabalho usará um trocador de calor por escoamento cruzado, visando assim uma redução em sua inércia térmica o qual garantirá um aumento de 5% na troca de calor efetiva. Desse objetivo decorrem outros seis específicos, quais sejam: a) apresentar trabalhos que conseguiram resultados significativos na área de refrigeração por adsorção; b) projetar os componentes do sistema de refrigeração por adsorção; c) apresentar a modelagem mecânica do sistema; d) analisar viabilidade econômica de implantação do sistema; e) apresentar suas aplicações e f) realizar os desenhos de todos os componentes para uma eventual confecção futura.

O referencial teórico segue os autores que tratam do estudo da refrigeração por adsorção, os quais apresentaram resultados significativos em suas pesquisas e o conhecimento essencial para o entendimento dos conceitos sobre refrigeração por adsorção.

A metodologia respeita as características apresentados por trabalhos anteriores, pelos trabalhos desenvolvidos por Vodianitskaia em 2016 e Soares em 2017. Iniciando assim pelo levantamento e dimensionamento de cada componente do sistema de refrigeração para em seguida ser realizado seus desenhos e características que cada componente deve ter, e por último realizar uma prévia da montagem de cada componente.

Os resultados mostram que o sistema de refrigeração por adsorção é uma alternativa para redução de emissão de gases do efeito estufa, por se tratar de um sistema que não utiliza compressores, bem como não ser um sistema tão barato e simples de se desenvolver, muito embora sua aplicação possibilita a redução de custos para os diversos setores, onde no uso residencial, pode-se reduzir o custo gradativamente, pela substituição dos condicionadores de ar atual por este sistema, assim como na indústria que pode ser utilizado calor desperdiçados pelas turbinas geradoras de energia para o sistema de refrigeração por adsorção.

Esperamos que este trabalho contribua para as futuras pesquisas referentes a refrigeração por adsorção, pois com ela, podemos dar um novo passo para tecnologias que não agridam o meio ambiente e reduzam as contas de energia de seu usuário

Este TCC está formatado em 7 capítulos, os quais estão assim apresentados: o Capítulo 1 é essa própria Introdução, que apresenta todas as características da pesquisa realizada, tais como: tema, delimitação do tema, problemática, hipóteses, justificativa, objetivos. O capítulo 2 e a apresentação de todo o referencial teórico necessário para a realização deste TCC, onde inicia apresentando trabalhos anteriores e conceitos básicos referentes a refrigeração por adsorção. No capítulo 3 é apresentado os materiais e métodos para o projeto do sistema, onde inicia apresentado o modelo a ser desenvolvido para em seguida realizar o levantamento dos componentes bem como seus desenhos. No capítulo 4 é apresentado a modelagem 3D do sistema, para ter uma prévia do protótipo já confeccionado, a análise econômica do sistema e suas principais aplicações para o devido atendimento a industrias e residências. No capítulo 5 é então demonstrado as considerações finais do trabalho. Todos os componentes do sistema podem ser visualizados nos anexos deste trabalho, onde é apresentado o desenho técnico de cada um.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será abordado todo o referencial teórico para entendimento dos capítulos seguinte. Primeiramente apresentamos os resultados que foram alcançados por pesquisadores em trabalhos anteriores, para em sequência ser apresentado o conteúdo sobre a adsorção e o processo de refrigeração.

2.1 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

Devido à grande importância de se encontrar meios sustentáveis e que sejam ecologicamente corretos, ou seja que não agridam a camada de ozônio, faz com que vários estudos e novas tecnologias sejam desenvolvidas, assim já foram feitos vários estudos e protótipos a respeito dos sistemas de refrigeração por adsorção, portanto este capítulo busca apresentar os principais trabalhos realizados por cientistas acerca do tema de refrigeração por adsorção.

Para se fazer uma evolução histórica se faz necessário buscar pesquisas e conceitos utilizados por vários cientistas e pesquisadores a respeito do assunto, dessa forma Vodianitskaia realizou um ótimo levantamento das tecnologias antes utilizadas, como descritas nos seguintes parágrafos abaixo.

Conhecido desde o Antigo Egito e aplicado para diversas finalidades desde então, o fenômeno da adsorção foi aplicado à refrigeração pela primeira vez por Michael Faraday, que utilizou o par amônia-cloreto de prata, em 1848. Em 1920 o par sílica gel-dióxido de enxofre (SO₂) era utilizado em sistemas de climatização de trens norte-americanos (DIENG e WANG, 2001 apud VODIANITSKAIA 2016). Ernest Miller desenvolveu um refrigerador a adsorção (1929) utilizando esse mesmo par. Connolly e Miller (1934) patentearam o processo de refrigeração a adsorção sólida para a *The Silica Gel Company de Baltimore*⁵, Maryland, abrangendo diversos adsorventes, tais como sílica gel e carvão ativado, bem como vários adsorvatos, tais como água, SO₂ e NH₃. (VODIANITSKAIA 2016)

Seguiu-se um intervalo de mais de trinta anos em que os sistemas a compressão à base de clorofluorcarbonos (CFC) dominaram o mercado, antes que os sistemas a adsorção voltassem a receber interesse, especialmente devido ao choque do preço do petróleo no mercado internacional (VODIANITSKAIA 2016).

⁵ *The Silica Gel Company de Baltimore: Empresa de Silica Gel de Baltimore.*

Um refrigerador solar a adsorção química apresentado por Muradov e Shadiev (1969) utilizava o par $\text{NaCl}_2\text{-NH}_3$. Em 1974, Dimitri Tchernev depositou um pedido de patente sobre a aplicação de zeólitas naturais para resfriamento de ambientes domésticos, prevendo sistemas de 6 kW com suficiente área de telhado para acomodar os reatores/coletores. Em 1978, publicou um artigo pioneiro sobre a aplicação de sistemas a adsorção para a climatização de ambientes, além de aquecimento de água, apresentando como única referência o artigo de Dubinin e Astakhov sobre zeólitas (1971). Nesse trabalho ele descreve um pequeno protótipo por ele desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology*⁶ (MIT). A capacidade do sistema era de 100 watts, com um reator plano de 0,8 m². Posteriormente, Tchernev teve concedidas outras patentes que enfocavam o uso de zeólitas, com um reator solar integrado a um condensador-evaporador contíguo (1981), um sistema de refrigeração solar (1986) e uma bomba de calor a adsorção (1987) (VODIANITSKAIA 2016).

Em 1979, Francis Meunier e colegas propuseram um ciclo intermitente para climatização de edificações com o par zeólita 13X-água. Guilleminot et al. publicaram em 1980 um estudo de ciclos intermitentes para refrigeração solar a adsorção (VODIANITSKAIA 2016).

No ano seguinte, Guilleminot et al., pesquisadores do LIMSI - Laboratório de Informática para Mecânica e Ciências da Engenharia do CNRS (Centro Nacional de Pesquisa Científica da França) desenvolveram e testaram um refrigerador doméstico com reator plano e uma câmara de refrigeração de 20 m², utilizando energia solar e o par zeólita sintética 13X-água, no *Domaine de Lavalette*⁷, em Montpellier (VODIANITSKAIA 2016).

Posteriormente, desenvolveram e testaram *ice makers* e bombas de calor com dois reatores para ciclo pseudocontínuo, que interessaram a empresas francesas como BLM, Elf Aquitaine e Jeumont-Schneider, resultando em patentes de Meunier et al. (1985, 1988, 1995) (VODIANITSKAIA 2016).

Vodianitskaia e Klüppel (1984) propuseram um reator coaxial multitubular, com tubo interno em tela para melhor cinética de adsorção, e uso do par sílica gel-água para temperaturas de regeneração do adsorvente mais baixas do que as necessárias com zeólita. Um refrigerador com essas características foi montado e submetido a avaliação experimental no LES - Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba. O reator coaxial foi

⁶ Massachusetts Institute of Technology: Instituto de Tecnologia de Massachusetts.

⁷ Domaine de Lavalette: Dominio de Lavalette.

posteriormente adotado em outros estudos e desenvolvimentos (LEITE e DAGUENET, 2000; HILDBRAND et al., 2004; AL MERS et al., 2006; e BERDJAA et al., 2014 apud VODIANITSKAIA 2016).

Diversos desenvolvimentos experimentais de sistemas a adsorção para *ice makers* com o uso de energia solar se seguiram (PONS e GUILLEMINOT, 1986; PONS e GRENIER, 1987; TAN et al., 1992; SUNATHY et al., 1999 apud VODIANITSKAIA 2016), assim como de uma câmara frigorífica (GRENIER et al., 1988 apud VODIANITSKAIA 2016) e um chiller (SAHA et al., 1995 apud VODIANITSKAIA 2016).

Saha et al. investigaram chillers a adsorção com dois estágios (2001) e três estágios (2006) com o intuito de aproveitar fontes de calor a níveis diferentes de temperatura, como por exemplo energia solar e calor residual de processo, o que contribui para um melhor aproveitamento de rejeitos de energia térmica, porém com menores COP (ALAM, 2001 apud VODIANITSKAIA 2016).

Oliveira (2004) construiu na Universidade de Campinas (UNICAMP), em Campinas - SP, um sistema de refrigeração por adsorção que permitia operar com ciclos de recuperação de vapor em um ou dois estágios. A operação com energia solar foi simulada para operação local, apontando para a possível produção de até 31,4 kg de gelo por dia a partir de água aquecida a 85 °C. Acoplado a um gerador de vapor convencional, o sistema produziu cerca de 2 kg de gelo por hora. Os valores de COP foram baixos — cerca de 0,08 —, o que foi provavelmente causado por questões de dimensionamento de componentes e de projeto das tubulações (VODIANITSKAIA 2016).

Saha et al. (2007) investigaram um chiller a adsorção com dois reatores e um estágio, que utilizava calor residual a baixa temperatura (entre 60 °C e 95 °C) utilizando o par fibra de carbono-etanol. Concluíram que o carbono em fibra permite uma taxa de adsorção mais rápida do que o carvão ativado em forma granular. Etanol foi escolhido como fluido refrigerante devido a suas propriedades ambientais, à sua não toxicidade, e por manter alta pressão de vapor mesmo a baixa temperatura. Chillers com seis e quatro reatores e três estágios com o par sílica gel-água foram investigados posteriormente. Um chiller de quatro fontes entre 40 °C a 70 °C e água a 9 °C apresentou COP máximo de 0,218 a 55 °C, com potência específica de refrigeração até 35 % mais alta do que no arranjo de seis reatores (RAHMAN et al., 2013 apud VODIANITSKAIA 2016).

Riffel et al. (2009) apresentaram um modelo transiente para um reator adsorativo do tipo tubo-aleta, levando em conta a geometria do trocador de calor e a difusão no adsorvente. Obteve-se na validação experimental um coeficiente de determinação múltipla de 0,94 e erro de 20 % (transiente). O balanço de energia do modelo foi comparado com dados de literatura, resultando em confiabilidade semelhante (VODIANITSKAIA 2016).

Em 2010, Leite et al. descrevem uma unidade de ar condicionado a adsorção com uma capacidade de 20 kW, utilizando o par carvão ativado-metanol e coletores de alta eficiência distribuídos em uma área de 120 m². O coeficiente de desempenho esperado é de 0,6 com uma variação de 13 °C na temperatura da água no evaporador (VODIANITSKAIA 2016).

Schwamberger et al. (2011) desenvolveram um modelo com um único adsorvedor formado por fibras de alumínio com dois tipos de cobertura de zeólita 13X, água como fluido refrigerante, e um tanque de recuperação de calor estratificado com circulação de óleo térmico. O fluido de transmissão de calor foi escolhido devido à sua menor condutividade térmica em relação à água. Alcançaram uma potência de refrigeração de 4 kW para um COP máximo de 1,24 (VODIANITSKAIA 2016).

Amorim (2012) avaliou o calor específico da fase adsorvida, assim como a cinética de adsorção em um reator tubular, e desenvolveu um código computacional para dimensionamento de reatores adsorativos, em sua tese de doutorado (VODIANITSKAIA 2016).

Vieira (2013) apresentou um estudo teórico experimental de um resfriador de água por adsorção usando energia solar, em sua tese de doutorado. Foram comparados reatores tubulares com fluxo adsorativo radial e axial, e diversas configurações de entrada do adsorvato, e desenvolvido um modelo de simulação do chiller com o sistema solar de aquecimento de água, validado mediante comparação com resultados experimentais. Posteriormente, o mesmo autor publicou análise da influência de trocador de calor coaxial do reator na cinética de adsorção e na potência específica (VIEIRA et al., 2015 apud VODIANITSKAIA 2016).

Rhu Zhu Wang (2014) publicou o livro *Adsorption Refrigeration Technology*⁸ sobre refrigeração a adsorção, 12 patentes e mais de 150 artigos relacionados à tecnologia, incluindo:

- O uso de tubos de calor (CHEN et al., 2007 e LU et al., 2012 apud VODIANITSKAIA 2016);

⁸ Adsorption Refrigeration Technology: Tecnologia de Refrigeração por Adsorção.

- Sistemas a adsorção para diversas aplicações, de estocagem de grãos (LUO et al., 2007 apud VODIANITSKAIA 2016) a barcos de pesca (WANG et al., 2008 apud VODIANITSKAIA 2016);
- Emprego de adsorventes compósitos como grafite expandido com cloreto de cálcio (WANG et al., 2006 apud VODIANITSKAIA 2016) e cloreto de lítio com sílica gel (GONG et al., 2010 apud VODIANITSKAIA 2016);
- Sistemas com concentração de energia solar (LU et al., 2013 apud VODIANITSKAIA 2016)
- Uso de energia térmica residual (WANG et al., 2011 apud VODIANITSKAIA 2016).

Uma pesquisa exploratória foi desenvolvida na Universidade de Maryland, EUA (RADERMACHER, 2015 apud VODIANITSKAIA 2016) envolvendo o uso de microemulsões para sistemas de refrigeração a sorção com interface líquido-líquido: óleo apolar e água sequestrada a baixa temperatura por micelas de surfactante, as quais são dissociadas a temperaturas mais altas, quando então a água é desorvida na fase líquida.

Em 2006 (YANG et. Al apud VODIANITSKAIA 2016) utilizou um sistema um pouco diferente do que é apresentado neste trabalho, com a diferença de que o mesmo utilizou na composição do seu sistema de resfriamento dois reatores adsorptivos que utilizavam o par de trabalho sílica gel e água, dois condensadores e dois evaporadores, fazendo assim um sistemas com um SCP 144W/kg, o qual é bem alto comparado com trabalhos anteriores, e com o experimento realizado conseguiu um coeficiente de desempenho COP de 0,32, sendo assim um coeficiente comercialmente viável.

Já em 2008 o trabalho também realizado pelos chineses XIA; WANG; ZHANG, realizaram um estudo experimental de sum sistema de refrigeração por adsorção “Chiller” semelhante ao trabalho apresentado por YANG em 2006, onde seu sistema também é composto por 2 reatores adsorptivo que utilizam o par de trabalho sílica gel e água, dois condensadores e dois evaporadores, onde em seu experimento conseguiu uma potência por unidade de massa SCP de 68W/kg o qual está bem mais baixo que o chiller desenvolvido por YANG, e também conseguiu um coeficiente de desempenho bem superior ao chiller do YANG, os quais conseguir um COP de 0,43, trazendo uma grande evolução em relação ao trabalho anteriores (VODIANITSKAIA 2016).

O Brasileiro Vodianitskaia em 2016 na sua defesa de doutorado realiza um estudo experimental de um chiller por adsorção, o qual é composto por 1 reator adsortivo que utiliza o par de trabalho sílica gel e água, 1 condensador e 1 evaporador. O seu sistema utiliza um reator tubular coaxial onde é formado por uma câmara termicamente isolada em aço inoxidável no qual é instalado o trocador de calor formado por dois passes de tubos dotados de 330 aletas de cobre, entre as quais é disposto o adsorvente, fixado por um envoltório de tela inox 80 malha 0,2 mm, no qual com essa configuração o mesmo conseguiu em seus experimento uma potência por unidade de massa SCP de 68W/kg e um coeficiente de desempenho de 0,53, o qual conseguiu ótimos resultados, aumentando assim a eficiência para o sistema.

Figura 1. Trocador de calor



Fonte: Vodianitskaia (2016)

Em 2017 o Brasileiro Dr. José Josimar Soares desenvolveu um protótipo de um sistema de refrigeração por adsorção que utiliza 2 reatores, 1 condensador e 1 evaporador, em que seus reatores eram bastantes semelhantes ao reator utilizado por Vodianitskaia, que também usava o reator tubular coaxial, em que o mesmo atingiu uma potência por unidade de massa SCP de 81,4 W/Kg e um coeficiente de desempenho de COP 0,52.

Em 2018, o também brasileiro Rafael Barreto, realizou o estudo de um chiller por adsorção que também utiliza o par de trabalho carvão ativado e etanol, onde o sistema é composto por 1 reator, 1 condensador e 1 evaporador, conseguindo assim um coeficiente de desempenho de 0,63, o qual apresentou resultados significativos na climatização do ambiente em estudo, garantindo assim um conforto térmico adequado ao ambiente.

2.2 ESTUDO DE MODELAGEM EM REFRIGERAÇÃO

Muitos trabalhos anteriores se alcançaram resultados significativos e com grande colaboração no meio científico no assunto de refrigeração por adsorção nos processos de modelagem, onde Vodianitskaia em 2016 realizou um levantamento dos trabalhos anteriores, onde pode ser lido nos seguintes parágrafos.

Guilleminot (1987) apresentou um modelo de transferência de calor e massa em um reator com adsorvente sólido. A difusão foi considerada não-isotérmica, como em Lee & Ruthven (1979) e Sun et al. (1986). Das equações de conservação de energia e de massa, o autor atribui como condições iniciais uma distribuição uniforme de temperatura, e a distribuição de massa dada pela equação de estado de equilíbrio bi variante sólido-vapor de Dubinin. Como a massa adsorvida e a pressão são conectadas com a temperatura por essa equação, o sistema de equações é resolvido conhecendo-se os valores de temperatura e massa adsorvida, ou de temperatura e pressão. O método numérico utilizava um modelo implícito por meio da técnica de diferenças finitas. (VODIANITSKAIA 2016).

Tamainot-Telto e Critoph (1996) apresentaram um modelo bidimensional para o par carbono monolítico-amônia, utilizando um programa de diferenças finitas, que compreende os envoltórios interno e externo do reator, a célula de adsorvente e a aleta, cujo conjunto é disposto radialmente a um duto por onde flui HCFC-22. Consideram a célula de adsorvente a temperatura uniforme e em equilíbrio, portanto a resistência à difusividade de massa é negligenciada. A aleta é modelada unidimensionalmente, já que a resistência térmica radial é muito menor do que a resistência térmica de contato e aquela apresentada pela célula de adsorvente. Equações de conservação de calor, massa e a equação de Dubinin-Radushkevich são consideradas no modelo transiente de transmissão de calor (VODIANITSKAIA 2016).

Chua et al. (1999) aplicaram um modelo transiente para um chiller a adsorção com o par sílica gel-água com dois reatores, capaz de quantificar os efeitos de chaveamento e tempo de ciclo, que apresentou resultados em boa concordância com dados experimentais (VODIANITSKAIA 2016).

Leite e Daguene (2000) introduziram um modelo numérico implícito para um reator a pressão uniforme e transmissão de calor unidimensional em uma máquina solar para produção de gelo com o par carvão ativado-metanol. Previram o sistema equipado com coletor de alta eficiência, a partir de um conjunto de parâmetros ambientais mensais. Como resultados, foram obtidos ciclos termodinâmicos típicos e a produção de gelo esperada, bem como a influência de especificações do coletor no desempenho do sistema (VODIANITSKAIA 2016).

Schawe (2001) comparou, em sua tese de doutorado, o desempenho de bombas de calor a adsorção de alta eficiência, a dois estágios e triplo efeito, e um estágio e duplo efeito, utilizando como adsorvente um compósito de zeólita em pó e grafite natural expandido. Utilizou como base o programa computacional escrito por Guilleminot, modificado para acomodar os

ciclos termodinâmicos propostos. Observou que o sistema de menor complexidade e custo, de duplo efeito, oferece vantagens semelhantes ao do sistema de triplo efeito, constituindo-se, portanto, em uma opção mais atrativa (VODIANITSKAIA 2016).

Alam et al. (2004) estudaram por meio de modelo matemático a influência de condições operacionais e de projeto no desempenho de um chiller a adsorção com dois estágios (VODIANITSKAIA 2016).

Oliveira (2004) comparou o ciclo em duplo estágio com recuperação de vapor ao ciclo convencional por meio de balanços de calor e massa e a equação de Dubinin Astakhov em um modelo utilizando a técnica das diferenças finitas (VODIANITSKAIA 2016).

Freni et al. (2008) utilizaram um modelo matemático dinâmico com dados climáticos experimentais para análise paramétrica e otimização de uma máquina produtora de gelo a adsorção utilizando energia solar e o par carvão ativado-metanol (VODIANITSKAIA 2016).

Frazzica et al. (2011) aplicou o programa comercial TRNSYS modificado para simular a evolução dinâmica da carga térmica em um escritório e otimizar o sistema de climatização solar, caracterizado por um chiller a adsorção e um trocador de calor que ocupa uma parede do aposento (VODIANITSKAIA 2016).

Schwamberger (2011) mostrou a modelagem estacionária e transiente para análise de eficiência térmica de um ciclo a adsorção com recuperação de calor por meio de um tanque estratificado em um sistema de um estágio, equipado com duas variedades de adsorvente compósito (VODIANITSKAIA 2016).

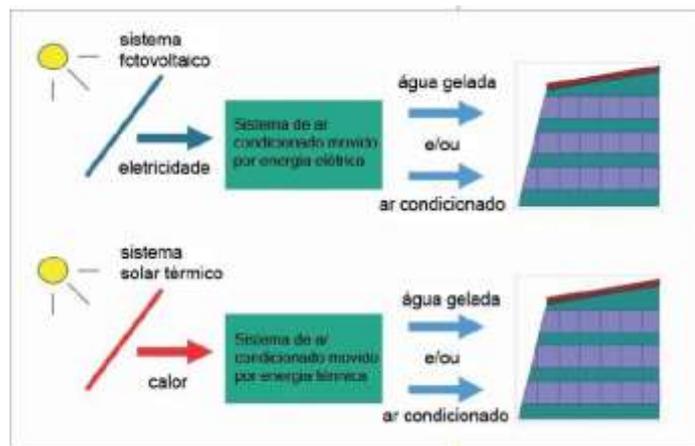
Rezk (2012) incluiu em sua tese de doutorado um modelo analítico para avaliação de desempenho de um chiller a adsorção com o par sílica gel-água. O modelo é composto pela equação de equilíbrio de adsorção de Tóth (1995) e o modelo de Freundlich modificado por Saha (1995) para a concentração de adsorvato; pelo balanço mássico de fluido refrigerante; e inclui recuperação de massa. Rezk utilizou plataformas padronizadas Matlab e Refprop para a simulação. O modelo é acoplado a um algoritmo genético de otimização (VODIANITSKAIA 2016).

Jribi et al. (2014) aplicaram um modelo matemático transiente a um ciclo de um chiller de quatro reatores equipados com pó de carbono como adsorvente e dióxido de carbono como fluido refrigerante, e calor residual como fonte de energia. A correlação de dados de adsorção foi igualmente efetuada com a equação de Tóth (VODIANITSKAIA 2016).

2.3 ENERGIA SOLAR

Segundo (BARRETO; RAFAEL, 2018) a energia solar para uso em resfriamento pode ser convertida de duas maneiras principais, conforme apresentado na Figura 2: eletricidade gerada por painéis fotovoltaicos, que será utilizada posteriormente em equipamentos convencionais que operam em ciclos de compressão de vapor e a refrigeração solar térmica, produzida a partir do aquecimento do fluido de trabalho em coletores solares.

Figura 2. Tipos de AC solar



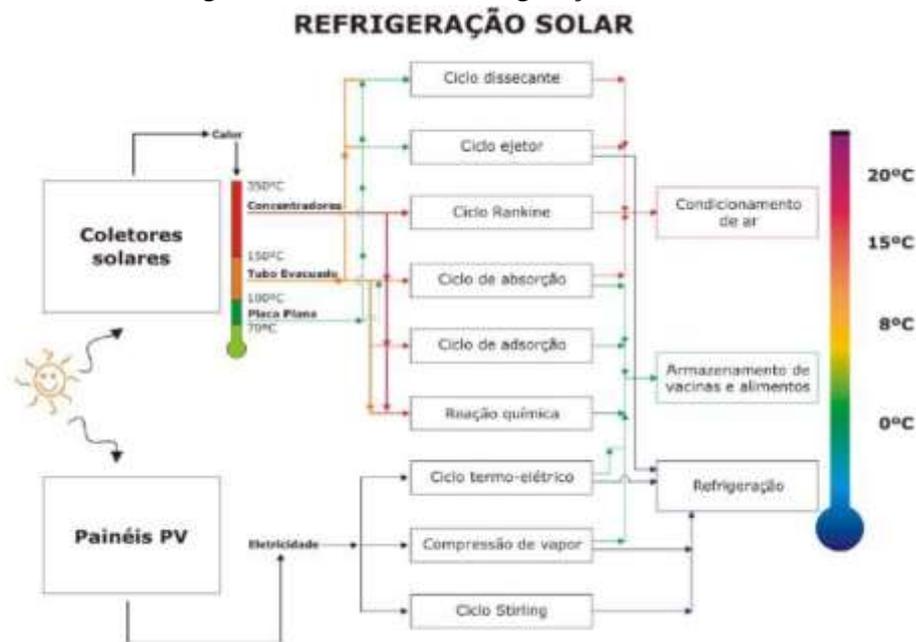
Fonte: Barreto, Rafael (2018)

Os sistemas de AC Solar térmico são compostos por coletores solares de alto desempenho operando em temperatura entre 90o C e 150o C. Nessa aplicação, podem ser utilizados coletores solares planos especiais ou de tubos evacuados, além de coletores concentradores e refletores lineares de Fresnel (BARRETO; RAFAEL, 2018).

A radiação solar disponível no local da instalação é absorvida pelos coletores solares que conduzem o calor, geralmente para um fluido de trabalho (água, ar ou outros). Em seguida, o chiller usa o calor desse fluido para geração de frio. (BARRETO; RAFAEL, 2018).

O princípio da refrigeração solar, proposto por Pridasawas e Lundqvist (2003), baseia-se em que todo calor, trabalho mecânico e eletricidade podem ser utilizados para movimentar um ciclo de refrigeração. Do ponto de vista termodinâmico, existem vários processos concebíveis para a transformação de irradiação solar em efeito de refrigeração. A escolha do tipo apropriado para uma aplicação em particular vai depender da demanda de refrigeração e da forma em que a energia de entrada (calor, eletricidade) esteja disponível, como é mostrado na Figura 3 (BARRETO; RAFAEL, 2018).

Figura 3. Sistemas de refrigeração solar



Fonte: Barreto; Rafael (2018)

2.4 CONCEITOS BÁSICOS

A adsorção pode ser definida como a capacidade de todas as substâncias sólidas atrair para as suas superfícies moléculas de gases ou soluções com os quais estejam em contato. Em que a substância sólida é chamada de adsorventes e os gases ou soluções são chamados de adsorvato (VODIANITSKAIA, 2016).

A adsorção ainda pode ser classificada de duas formas, sendo elas a adsorção física e adsorção química. A adsorção física é um processo semelhante ao processo de condensação em que depende de forças de baixa intensidade, chamadas força de van der Waals entre o adsorvente e o adsorvato. Já a adsorção química ocorre quando gases aderem a uma superfície sólida por forças químicas superficiais a cada superfície e a cada gás (VODIANITSKAIA, 2016).

Para a utilização nos processos de adsorção são utilizados pares de adsorção, ou seja, é utilizado um adsorvente e um adsorvato que sejam mais compatíveis para o processo, como por exemplo a sílica gel e água e carvão ativado e etanol, para assim ter um melhor rendimento no processo de adsorção. Abaixo contém uma tabela com os pares de adsorção utilizados. (VODIANITSKAIA, 2016).

Quadro 1. Principais pares de trabalho de adsorção

Pares de trabalho	
Adsorvente	Adsorvato
Sílica – gel	Água
Carvão Ativado	Etanol ou Metanol
Zeólitas	Água

Fonte: Próprio Autor (2021)

2.5 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO

Diferente do ciclo de absorção o qual é um fenômeno volumétrico, a adsorção é um fenômeno de superfície, assim no ciclo o compressor é substituído por um reator por adsorção. Então para o sistema de adsorção funcionar corretamente se utiliza os componentes descritos na tabela abaixo (VODIANITSKAIA, 2016).

Quadro 2. Componentes de um ciclo de refrigeração por adsorção

Componente de um ciclo de refrigeração por adsorção	
Componentes	Descrição
Reator ou Adsorvedor	Têm o papel de um compressor termofísico, é onde o adsorvente adsorve ou desorve o adsorvato
Condensador	Onde ocorre a condensação do fluido refrigerante
Evaporador	Onde ocorre a evaporação do fluido refrigerante
Dispositivos de controle volumétrico	Permite um controle conveniente do fluxo do refrigerante

Fonte: Próprio Autor (2021)

O ciclo a adsorção é composto pelo acoplamento de dois ciclos:

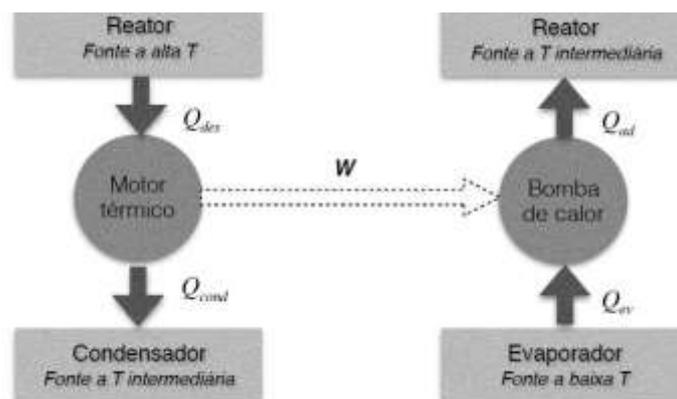
- Motor térmico, que fornece trabalho ao fluido refrigerante, para dessorvê-lo e condensá-lo a uma pressão do condensador
- Bomba de calor, em que o fluido refrigerante extrai calor no evaporador a uma pressão do evaporador que retorna ao reator.

A partir do aquecimento do reator que contém o leito adsorativo contendo adsorvato, este é dessorvido e condensado. No reator, o fluido refrigerante dessorvido — um processo endotérmico — necessita do calor de dessorção cedido pelo fluido secundário aquecido até uma temperatura máxima T_3' , e flui até o condensador, onde libera o calor de condensação a uma temperatura T_3 para um fluido secundário a uma temperatura T_1 . Assim, o reator cumpre para o motor térmico um papel análogo ao exercido por um compressor mecânico em um ciclo a compressão de vapor. (VODIANITSKAIA, 2016).

O fluido condensado é então transferido para o evaporador, onde ocorre a evaporação do fluido refrigerante, que então flui ao reator, o qual é previamente resfriado pelo fluido secundário até a temperatura T_1 e a uma pressão mais baixa do que no evaporador. No evaporador, o fluido refrigerante absorve o calor de evaporação a uma temperatura T_4 . No reator, a adsorção, um processo exotérmico, libera o calor de adsorção (VODIANITSKAIA, 2016).

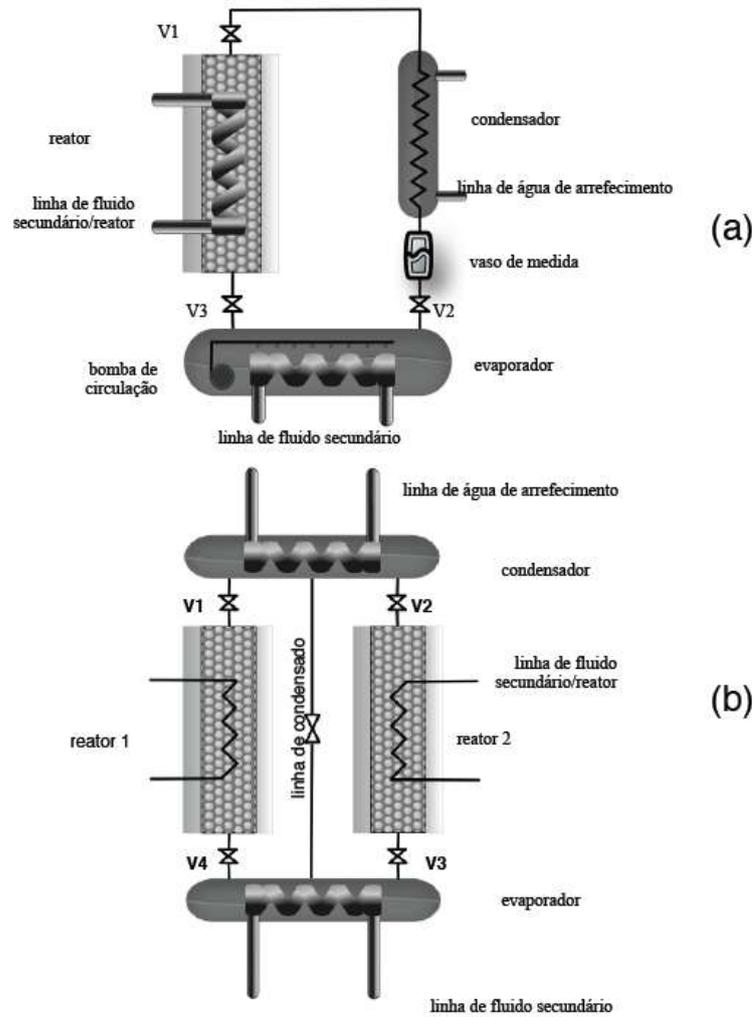
O trabalho W realizado pelo motor térmico, análogo ao trabalho de eixo em compressores mecânicos, possibilita o ciclo da bomba de calor (DEMIR et al., 2008 apud VODIANITSKAIA 2016).

Figura 4. Representação esquemática da máquina de refrigeração a adsorção



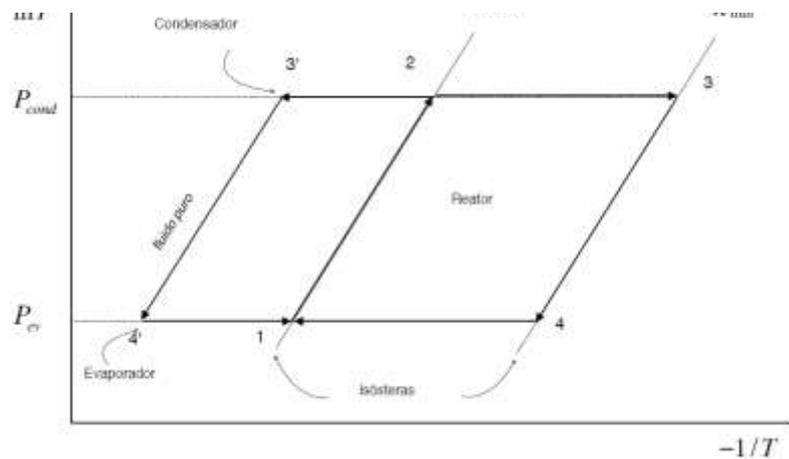
Fonte: Vodianitskaia (2016)

Figura 5. Representação do ciclo de refrigeração por adsorção com um (a) e dois reatores (b)



Fonte: Vodianitskaia (2016).

Figura 6. Ciclo a adsorção em um diagrama de Clapeyron



Fonte: Vodianitskaia (2016)

Os chillers por adsorção podem apresentar em seus sistemas um ou mais reatores para seu funcionamento, assim o estudo com mais de um reator pode vir a ser essencial para um melhor desempenho do sistema, dessa forma na figura 5 e 6 é demonstrado (VODIANITSKAIA, 2016).

- Pré aquecimento isostérico do adsorvente (processo 1-2), por meio de um fluido aquecido que flui pela serpentina 1 (no reator 1) e sequencialmente, na serpentina 2 (no reator 2). Válvulas fechadas. A pressão do sistema aumenta até P_{cond} (VODIANITSKAIA, 2016).

- Dessorção isobárica (processo 2-3) e condensação (processo 2-3'), com V1 aberta quando o reator 1 estiver preaquecido, ou V2 aberta, na vez do reator 2 (VODIANITSKAIA, 2016).

- Pré resfriamento isostérico (3-4), por meio de um fluido a uma temperatura intermediária, que flui pela serpentina 1. Válvulas fechadas. A pressão do sistema reduz-se até P_{ev} (VODIANITSKAIA, 2016).

- Adsorção isobárica (4-1) e evaporação (4'-1), com V4 aberta quando a adsorção ocorrer no reator 1 ou, sequencialmente, com V3 aberta, para possibilitar o fluxo de fluido vaporizado até o reator 2 (VODIANITSKAIA, 2016).

Os ciclos integrados para máquinas a adsorção com dois reatores podem apresentar:

- Dois condensadores e dois evaporadores, sem etapas intermediárias de pré aquecimento e pré-resfriamento para melhor confiabilidade (VODIANITSKAIA, 2016).

- Dois condensadores que funcionam também como evaporadores, e uma terceira câmara com um outro refrigerante que atua como tubo de calor, o que reduz o número de trocadores de calor (VODIANITSKAIA, 2016).

- Processos de recuperação de calor e de massa, os quais podem ser adicionados às etapas de pré aquecimento e de pré resfriamento. Para recuperação de massa, os dois reatores são conectados entre si para acelerar a redução de pressão do leito quente e o aumento de pressão do leito frio, favorecendo o equilíbrio mecânico. Para recuperação de calor, a água de resfriamento flui através do leito quente e em seguida através do leito frio, o que reduz a energia requerida para regenerar o refrigerante, melhorando, portanto, o desempenho do ciclo (VODIANITSKAIA, 2016).

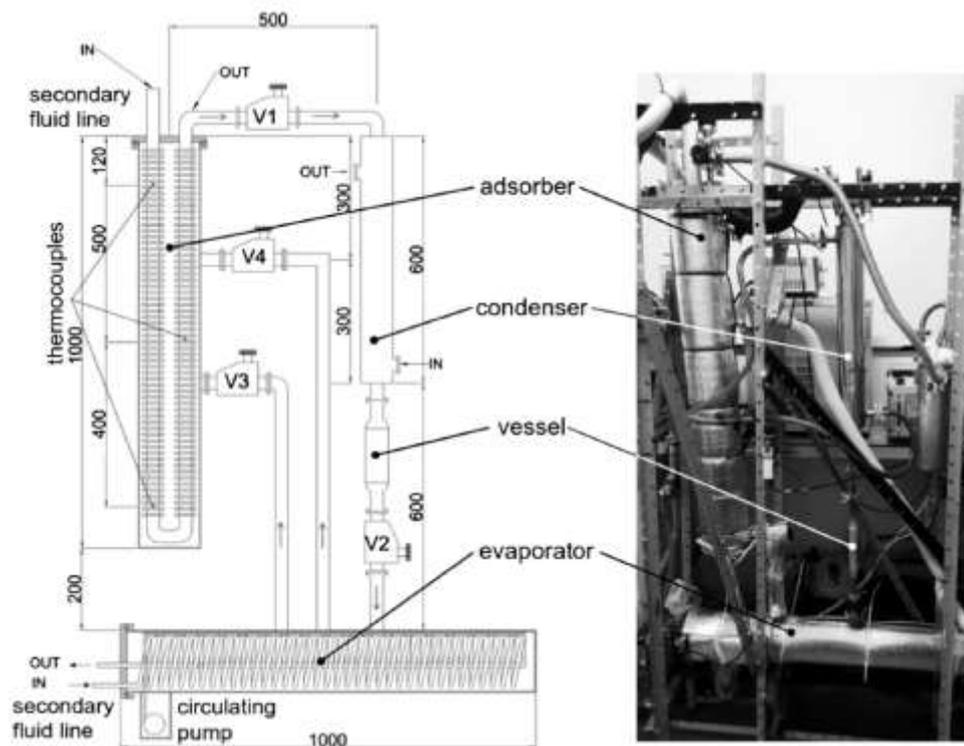
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho será realizado o dimensionamento e o projeto de dois sistemas de refrigeração por adsorção que terá como base dois trabalhos, onde o primeiro é o trabalho realizado por (VODIANITSKAIA, 2016) que utiliza apenas um reator, e o trabalho realizado por (SOARES, 2017) que utiliza dois reatores em seu sistema.

3.1 CHILLER COM 1 REATOR

Para realizar o dimensionamento dos componentes do chiller que utiliza apenas um reator e em sua composição terá como base o trabalho apresentado por (VODIANITSKAIA et al., 2016) que apresentou em seu artigo um chiller por adsorção que utilizar um par de trabalho sílica-gel e água, onde o mesmo era composto por um único reator com um trocador de calor por tubo aletado, um condensador, um evaporador e um conjunto de válvulas de controle conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 7. Representação do chiller por adsorção com tubo aletado



Fonte: Vodianitskaia (2016)

Dessa forma baseando-se no estudo realizado por (VODIANITSKAIA et al., 2016) em seu artigo, o presente trabalho busca desenvolver o chiller com reator composto por um trocador por escoamento cruzado e um com dois reatores que utiliza o par de trabalho carvão

ativado e etanol, para assim realizar um estudo comparativo quanto ao rendimento dos dois chillers em questão.

3.2 LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES

O sistema de refrigeração será apresentado neste trabalho com duas configurações, onde a primeira configuração será composta por um reator adsorativo termicamente isolado, um condensador resfriado a água, com vaso de medida e um evaporador com bomba de circulação.

Nos sistemas também serão acoplados linha de fluidos secundárias que terão papel fundamental para o funcionamento do sistema que são o aproveitamento do efeito frigorífico no evaporador, aquecimento do reator para a dessorção, resfriamento do reator para a adsorção e o resfriamento do adsorvato através da troca de calor com o condensador.

Para o bom funcionamento do sistema será necessário fazer um monitoramento através de componentes eletrônicos para determinar o momento de abertura e fechadura das válvulas, dessa forma será utilizado um termopar em cada componente do sistema como o reator, condensador e evaporador para determinar a temperatura que cada componente do sistema possui.

Outros componentes essenciais para o sistema é a utilização de medidores de pressão e vazão, pois com eles podemos controlar respectivamente a pressão que cada componente do sistema possui para garantir uma pressão ideal para o sistema e a vazão de entrada e saída de cada fluido no sistema para garantir uma quantidade exata de fluido para o melhor funcionamento.

Para o desenvolvimento do sistema de refrigeração que utiliza em sua composição apenas um reator foi elaborado o levantamento de todos os materiais e componentes necessário para o seu funcionamento, conforme tabela abaixo que apresenta cada componente e suas características.

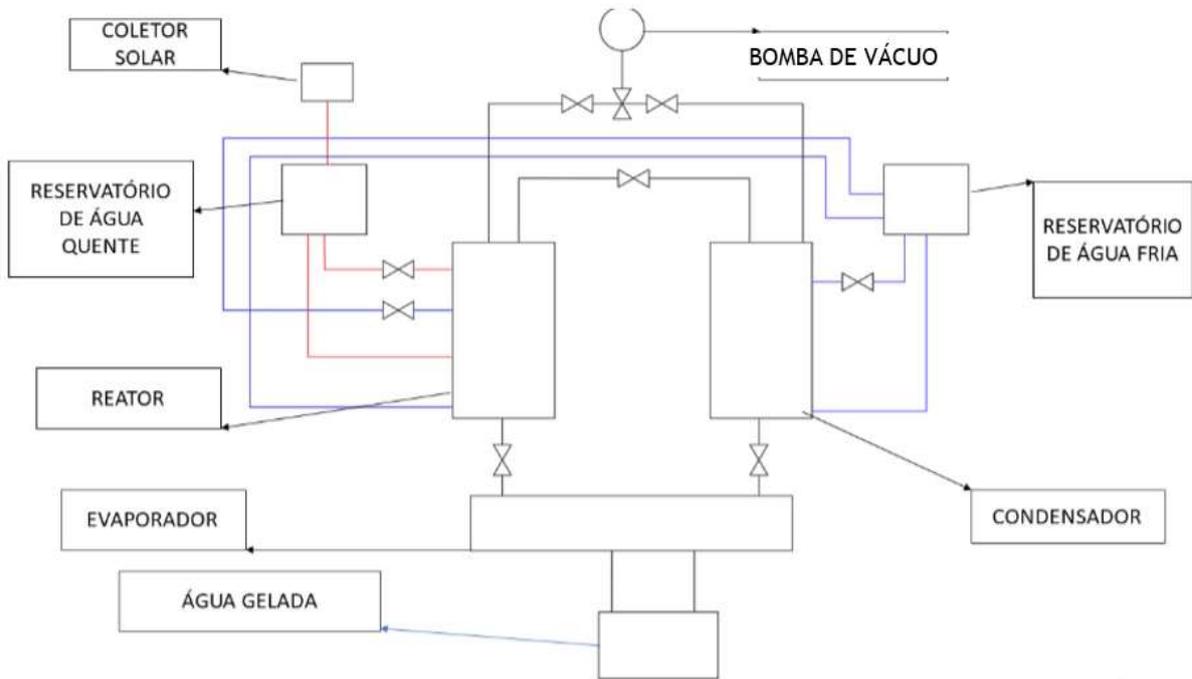
Tabela 1. Lista de componentes para o sistema com 1 reator

LISTA DE COMPONENTES – SISTEMA COM 1 REATOR			
IT	QTD	DESCRIÇÃO	
1	1	Reator Adsorativo	Com trocador de calor por escoamento cruzado
2	1	Condensador	Tubo concêntrico
3	1	Evaporador	Com trocador de calor por escoamento cruzado
4	5	Válvulas de controle	Eletropneumática DN 16 to 40 ISO-KF
5	1	Bomba de Vácuo	Edwards RV3
6	3	Reservatório de água	200 L
7	1	Placa Coletora solar	400w Half-cell
8	1	Bomba de circulação	Grundfos – UPS 25-62 180
9	4	Medidor de Pressão	DM12
10	3	Termopar	Termopares tipo K
11	5	Medidor de Vazão	YF-S201
12	1	Carvão Ativado	Adsorvente
13	1	Etanol	Adsorvato

Fonte: Próprio Autor (2021)

Com o levantamento de todos os componentes necessários para o desenvolvimento do sistema foi realiza um pequeno esquema de como o ciclo irá funcionar, onde pode ser observado na figura 8 a elaboração do ciclo de adsorção.

Figura 8. Ciclo de Adsorção para um reator

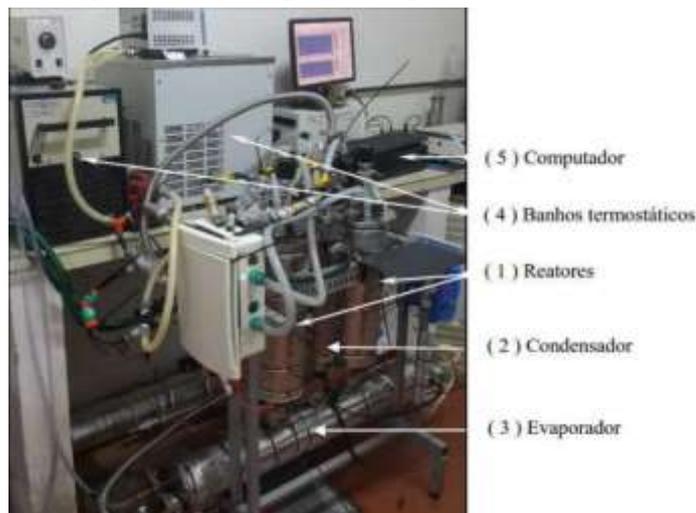


Fonte: Próprio Autor (2021)

3.3 CHILLER COM 2 REATORES

Nas continuidades do trabalho foi realizado também o projeto mecânico do sistema de refrigeração que utiliza dois reatores, onde foi decidido fazer o sistema com dois reatores para ter uma comparação com exata com o trabalho mais recente que foi desenvolvido por (SOARES, 2017), onde pode ser visto na figura 9.

Figura 9. Chiller por adsorção com 2 reatores



Fonte: Soares (2017)

Assim o levantamento dos equipamentos para a confecção do sistema de refrigeração que utiliza dois reatores é bem semelhante aos equipamentos do sistema que utiliza apenas um reator, como descrito na tabela abaixo.

Tabela 2. Lista de componentes para o sistema com 2 reatores

LISTA DE MATERIAIS – SISTEMA COM 2 REATOR			
IT	QTD	DESCRIÇÃO	
1	2	Reator Adsorativo	Com trocador de calor por escoamento cruzado
2	1	Condensador	Tubo concêntrico
3	1	Evaporador	Com trocador de calor por escoamento cruzado
4	6	Válvulas de controle	Eletropneumática DN 16 to 40 ISO-KF
5	1	Bomba de Vácuo	Edwards RV3
6	3	Reservatório de água	200 L
7	1	Placa Coletora solar	400w Half-cell
8	1	Bomba de circulação	Grundfos – UPS 25-62 180
9	4	Medidor de Pressão	DM12
10	3	Termopar	Termopares tipo K
11	5	Medidor de Vazão	YF-S201
12	1	Carvão Ativado	Adsorvente
13	1	Etanol	Adsorvato

Fonte: Próprio Autor (2021)

Com o levantamento dos equipamentos, foi partido para o próximo passo que foi o dimensionamento de cada componente que será utilizado no sistema.

3.4 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Nesta parte do trabalho será apresentando o dimensionamento dos componentes, reator, condensador e o evaporador, explorando todas as características que cada componente deve ter, bem como a realização de seus desenhos e modelagem 3D.

3.4.1 Reator

Como descrito acima o reator adsorativo que será utilizado neste projeto será um que utiliza um trocador de calor por escoamento cruzado, dessa forma foi dimensionado um trocador de calor que possui 30x13cm de área de troca de calor com 51 aletas para ter um melhor rendimento como demonstrado na figura abaixo.

Figura 10. Trocador de calor por escoamento cruzado



Fonte: Próprio Autor (2021)

Optei neste trabalho por um trocador de calor por escoamento cruzado para realizar a comparação com trabalhos anteriores que utilizaram outros tipos de trocadores de calor, dessa forma o trocador de calor foi dimensionado observando alguns fatores, onde o primeiro buscado uma quantidade mínima de massa que o trocador iria ter, pois quanto maior a quantidade de massa dentro do reator maior seria a inercia térmica, evitando assim que a troca efetiva e rápida de calor.

Outro ponto que foi observado foi a dimensão e o material do trocador de calor, pois o material deveria proporcionar uma boa aderência do carvão ativado e que facilitasse a adsorção e dessorção do etanol, dessa forma os tubos de cobre foram a melhor para tal decisão.

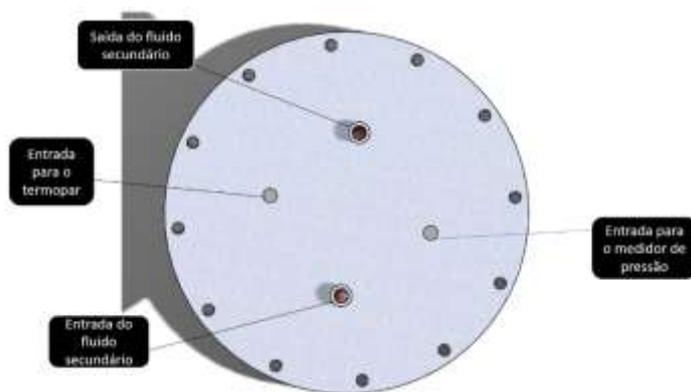
Com o devido dimensionamento do trocador de calor o próximo passo foi realizar o dimensionamento e o desenho do reator que será utilizado no sistema, dessa forma assim como no trocador de calor a escolha do tipo de material é fundamento, pois o mesmo deverá cumprir alguns requisitos, onde o primeiro é que calor não pode escapar de dentro do reator para que garanta que a dessorção não ocorra antes da hora, dessa forma o sistema deve ficar bem isolado sem que ocorra trocas térmicas entre o ambiente e o reator. outro ponto que foi observado na escolha do material foi a resistência do material a altas pressões, pois dentro do reator será

gerado vácuo, assim a estrutura do reator não deve se romper de forma alguma para que não haja problemas no sistema.

Como dentro do reator será gerado vácuo, ocorre um problema que é o isolamento do sistema, dessa forma a escolha de como o reator será montado foi um problema inicial, pois busquei duas características que o reator deveria ter, em que a primeira seria que o sistema seria bem isolado e a outra é que o reator pudesse ser desmontado para que se pudesse fazer devidas manutenções.

Pensando nessas características que o reator deveria ter, logo de cara a possibilidade de soldar as tampas do reator foi descartada, pois não seria possível realizar a manutenção dentro do trocador dentro do reator, dessa forma optou-se por um sistema, onde irá utilizar duas franges em que serão conectadas através de 12 parafusos M8 e para que ocorra uma boa vedação será utilizado um O-ring, o qual possibilita a vedação do sistema para que não ocorra perda do vácuo dentro do reator. A frange e o O-ring podem ser observados na figura 11 e figura 12.

Figura 12. Flange do Reator



Fonte: Próprio Autor (2021)

Figura 11. O-ring do reator



Fonte: Próprio Autor (2021)

Outro ponto que foi observado para o dimensionamento do reator foi a saída e a entrada do fluido refrigerante no reator, no caso o etanol, primeiramente havia sido optado por utilizar a entrada e saída de ar pela tampa do reator, no caso onde é a flange, mas com essa opção não iria ter uma boa troca de calor do fluido refrigerante e do trocador, ou seja a adsorção e a dessorção seriam ineficazes, assim pensando nessas características optou-se por colocar a entrada e saída do fluido refrigerante no meio do reator, pois assim irá garantir que o etanol haja diretamente com a aletas do trocador de calor. Dessa forma com o dimensionamento finalizado foi realizado a montagem do reator, o qual pode ser observado na figura 13.

Figura 13. Reator por adsorção



Fonte: Próprio Autor (2021)

3.4.2 Condensador

Com o dimensionamento do reator concluído, o passo seguinte foi dimensionar o condensador o qual será responsável por realizar a condensação do fluido refrigerante ao sair do reator, dessa forma para o dimensionamento do condensador optou-se por utiliza o mesmo modelo utilizado por (SOARES, 2017), no qual utilizou na parte interna do condensador tubos concêntricos de cobre com dimensões de 06x0,4 m, assim baseando-se no mesmo modelo foi realizado o desenho do tubo conforme figura 14.

Figura 14. Tubo do condensador

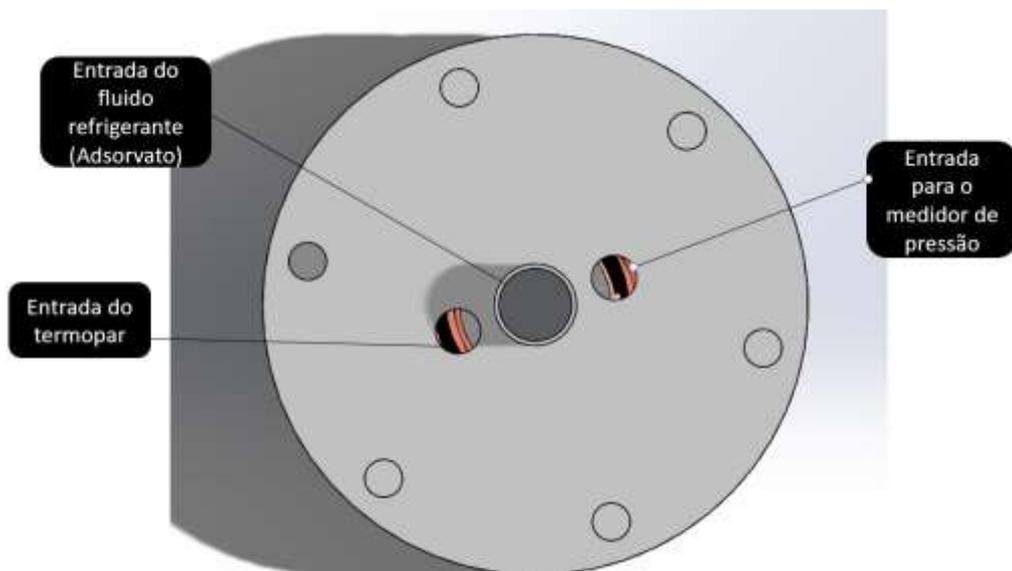


Fonte: Próprio Autor (2021)

O próximo passo para o dimensionamento do condensador foi realizar o desenho do casco do condensador e o levantamento de quais características o casco do condensador deveria ter, onde o primeiro foi como assim como no reator o material estaria sujeito a pressão de vácuo dessa forma o material deveria ser resistente, mas com a diferença do reator de que a troca de calor com o ambiente não se fazia necessário para o seu dimensionamento, dessa forma optou-se por um casco de PVC com 0,5x0,6 m, o qual é resistente o suficiente para aguentar a pressão de vácuo.

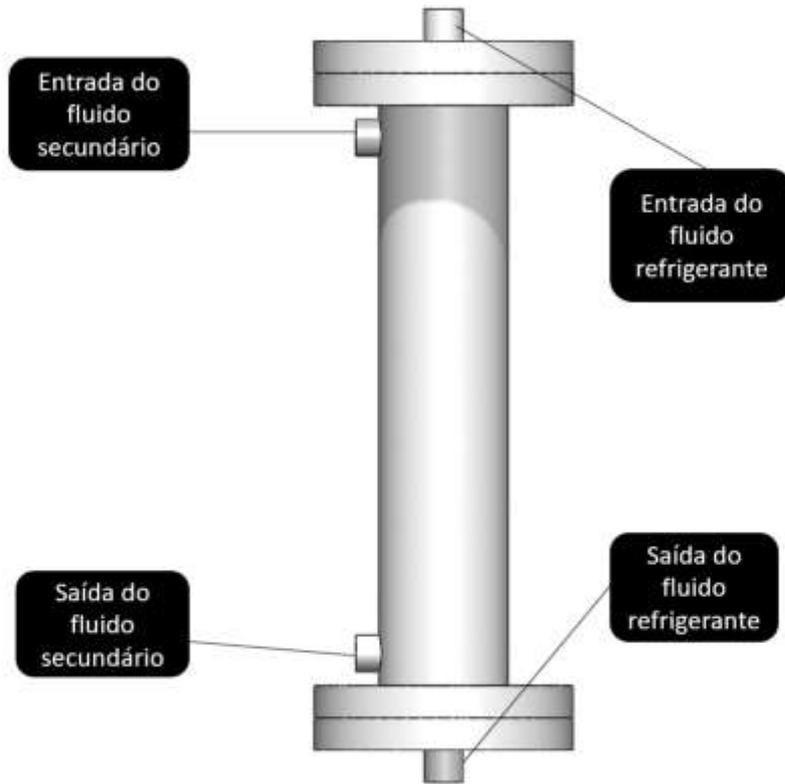
A necessidade de assim como no reator ter um boa vedação, pelo fato de que o condensador será submetido a pressão de vácuo, se faz necessário que o casco tenha uma boa vedação e que também tenha a possibilidade de ser desmontável para possíveis futuras manutenções, dessa forma foi utilizado o mesmo sistema de vedação que no reator, onde a tampa e o casco serão conectados por flanges parafusadas com 6 parafusos M8, onde na junção delas será colocado um O-ring para que se tenha uma boa vedação, o sistema com flanges e parafusos pode ser visualizado na figura 15 e figura 16.

Figura 15. Flange do Condensador



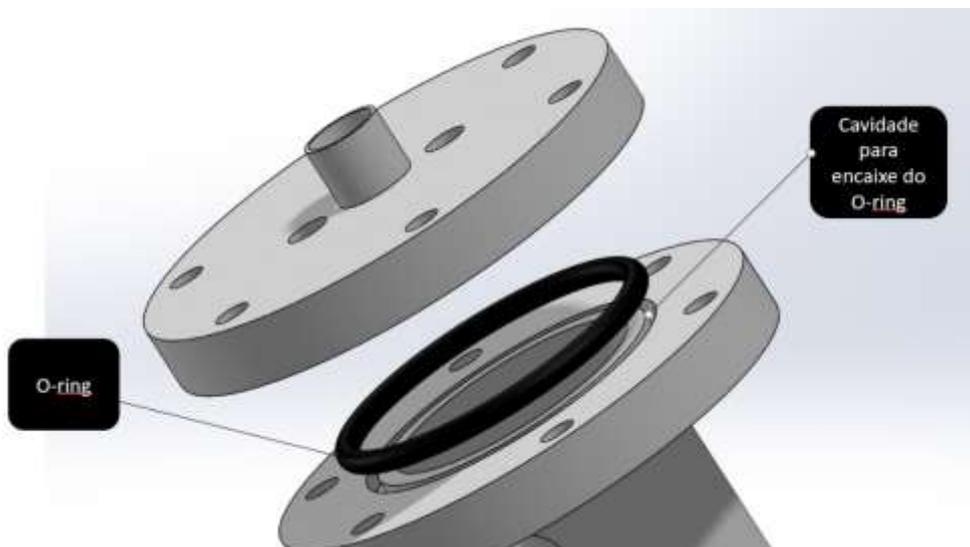
Fonte: Próprio Autor (2021)

Figura 17. Entradas de fluidos do condensador



Fonte: Próprio Autor (2021)

Figura 16. O-ring do Condensador



Fonte: Próprio Autor (2021)

As entradas de fluido secundário e do fluido refrigerante (adsorbato), diferenciando do reator ocorrerá de forma invertida, onde no flange do condensador ou no caso a tampe, será a entrada do fluido refrigerante, enquanto que no meio do condensador será a entrada para o fluido secundário responsável por realizar a condensação do fluido refrigerante, onde pode ser visualizado na figura 15 e na figura 17.

Finalizando assim o dimensionamento e o levantamento dos materiais necessários para construir o condensador foi realizado a modelagem e o desenho de cada componente para sua construção, dessa forma o condensador montado pode ser visualizado na figura 18.

Figura 18. Condensador



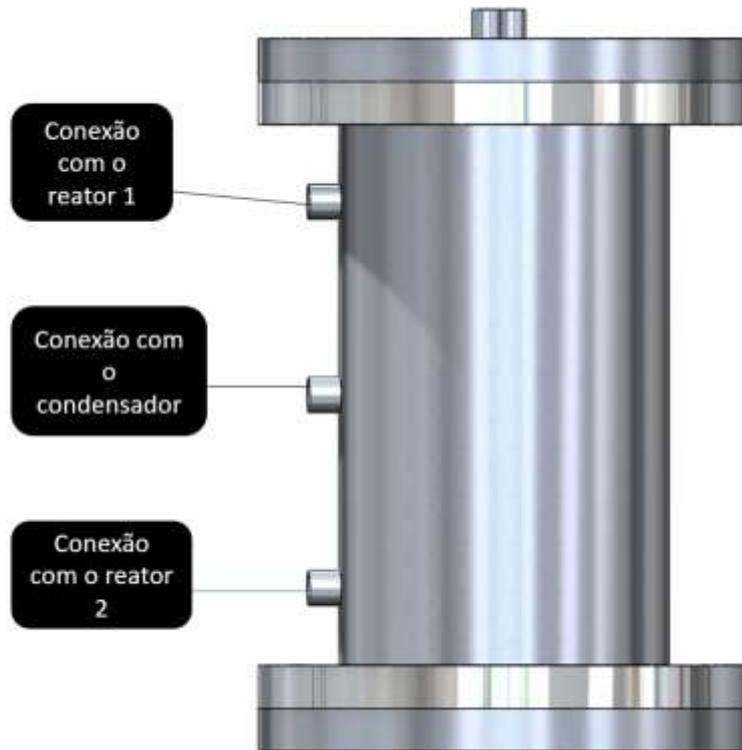
Fonte: Próprio Autor (2021)

3.4.3 Evaporador

Para realizar o dimensionamento do condensador, foi utilizado todas as características do reator, onde o evaporador terá a mesma câmara de vácuo de aço inox com 37x26 cm com a distancias entre os flanges, dessa forma o evaporador também contará com conexão entre flanges e com um O-ring e o mesmo trocador de calor conforme foi mencionado no reator.

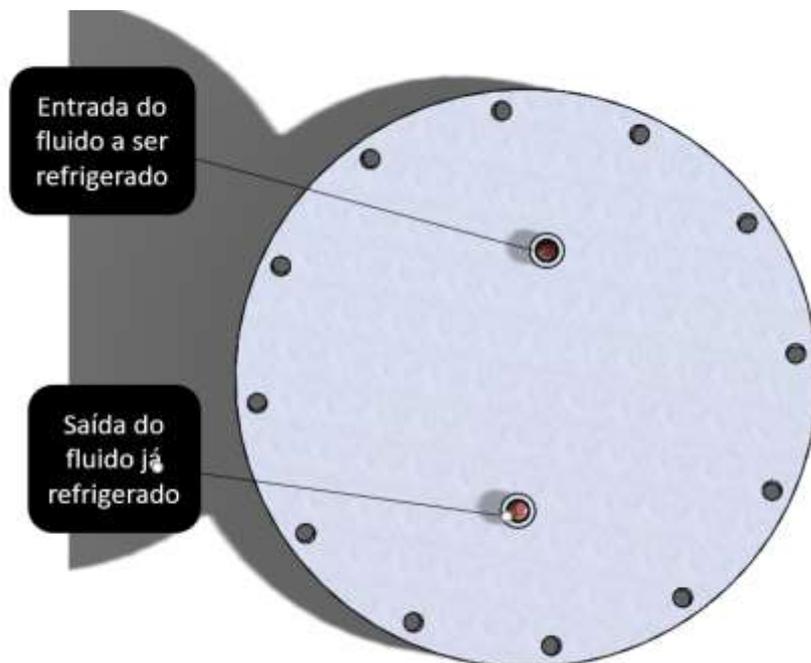
A diferença que o evaporador terá do reator será nas entradas de fluidos que será realizado as trocas de calor para fazer o processos de evaporação, assim em sua flange terá duas entrada para o fluido secundário, o qual sairá do evaporador já refrigerado e três entradas que serão as conexões com o fluido refrigerante com os demais componentes, onde pode ser visualizado na figura 19 e figura 20.

Figura 20. Conexões do evaporador



Fonte: Próprio Autor (2021)

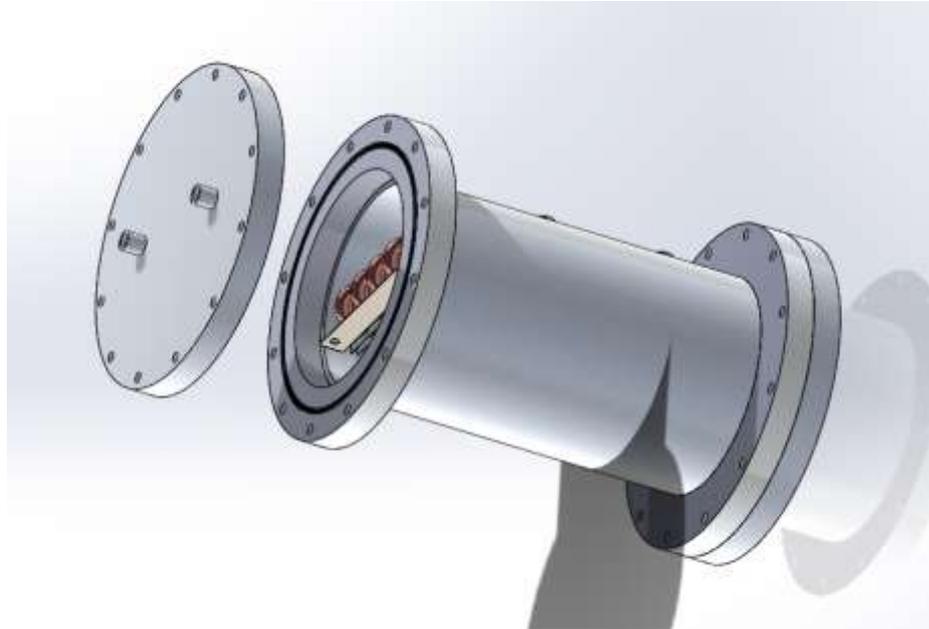
Figura 19. Flange do Evaporador



Fonte: Próprio Autor (2021)

Com o devido dimensionamento do componente do evaporador foi possível então realizar o desenho do mesmo, onde foi criado um desenho 3D do componente, em que pode ser visto na figura 21.

Figura 21. Evaporador



Fonte: Próprio Autor (2021)

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado os resultados alcançados com o dimensionamento dos componentes, em que inicialmente será mostrador a simulação de montagem do sistema, para assim ter uma visão geral do mesmo. Para em seguida ser apresentado uma breve análise econômica para confecção do sistema e finalizando com as possíveis aplicações para o sistema que foi aqui desenvolvido.

4.1 MODELAGEM 3D DO SISTEMA

Com o desenho 3D de todos os componentes finalizados, foi em seguida realizado a montagem dos componentes do sistema, onde será descrito passo a passo a montagem de cada componente do sistema para em seguida obter-se o resultado final da montagem.

O sistema a ser realizado a simulação de montagem, será para o sistema que possui em seu sistema dois reatores, dessa forma inicia-se a montagem conectando os dois reatores ao condensador, onde para realizar tal montagem será utilizado uma tubulação de cobre de 16 mm de diâmetro e será acoplado em cada conexão uma válvula a vácuo de controle eletropneumático e a conexão entre cada tubulação à uma conexão de 4 vias, onde pode ser visualizado na figura 22.

Figura 22. Montagem dos reatores com o condensador

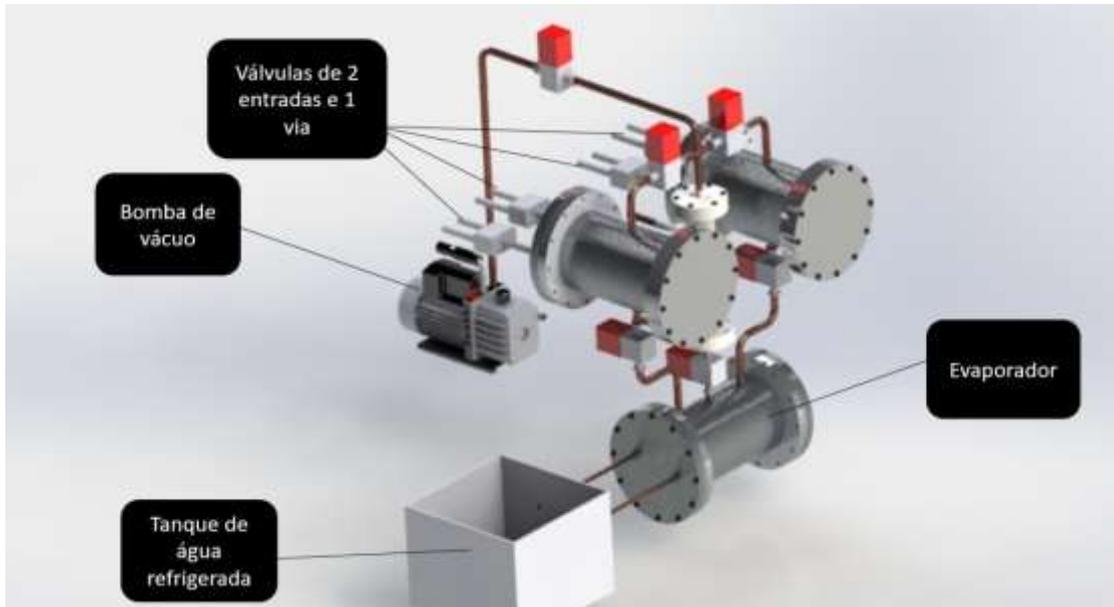


Fonte: Próprio Autor (2021)

O próximo passo foi realizar a montagem dos reatores e do condensador com o evaporador, onde também serão conectados através de tubos de cobre de 16 mm e com as válvulas de controle. Após o ser concluído o 2º passo, foi conectado a bomba de vácuo com o sistema e a conexão do tanque, onde será o reservatório de água já refrigerada. Dessa forma

finaliza-se o processo de montagem do sistema de refrigeração por adsorção, no qual pode ser visualizado na figura 23.

Figura 23. Sistema de refrigeração por adsorção



Fonte: Próprio Autor (2021)

4.2 ANÁLISE ECONÔMICA FINANCEIRA DO SISTEMA

Neste tópico será abordado a viabilidade econômica de confecção e implantação do sistema em alguma residência ou indústrias para em seguida ser comparado com sistemas já usais como os sistemas por absorção que utilizam compressores de ar.

4.2.1 Reator

Um dos principais componentes a ser levado em conta e o qual não se deve priorizar a qualidade é o trocador de calor, pois o mesmo será responsável por realizar todas as trocas de calor o que fará com que o rendimento do sistema fique maior, dessa forma o trocador de calor terá um custo de R\$ 300,00 para sua confecção.

Outro componente importante para o sistema são as câmaras de vácuo, nas quais serão incluídas internamente os trocadores de calor. Com as características que foram abordadas no capítulo 2, dessa forma o custo de fabricação para a câmara de vácuo será de R\$ 150,00, pois a mesma pode utilizar materiais reciclados como baldes de cerveja da cervejaria Heineken, o qual contém as mesmas dimensões já apresentadas aqui.

4.2.2 Condensador

O Condensador por utilizar equipamentos fáceis de encontrar e com materiais relativamente baratos não terá um custo muito alto para sua confecção, principalmente pelo seu casco ou câmara de vácuo que irá ser feito de PVC, assim o maior custo será para a confecção dos tubos concêntricos, dessa forma a confecção do condensador sairá por volta de R\$ 250,00.

4.2.3 Evaporador

O evaporador, por sua vez, como apresentado no capítulo é idêntico ao reator, onde será utilizado o mesmo trocador de calor e câmara de vácuo praticamente idêntica, apenas com algumas diferenças em relação a entradas e saídas dos fluidos secundários e primários, dessa forma o custo permanecerá praticamente o mesmo com o valor de R\$ 450,00 no conjunto completo.

4.2.4 Outros Componentes

Para a construção do sistema também é necessário componentes secundários, os quais sem eles o sistema não funcionará, dessa forma foi elaborado uma tabelam com cada componente e seu custo, onde pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 3. Custos de implementação do sistema

CUSTO DO SISTEMA			
IT	QTD	DESCRIÇÃO	VALOR/UNIDADE
1	2	Reator Adsorativo	R\$ 450,00
2	1	Condensador	R\$ 250,00
3	1	Evaporador	R\$ 450,00
4	6	Válvulas de controle	R\$ 100,00
5	1	Bomba de Vácuo	R\$ 1000,00
6	3	Reservatório de água	R\$ 30,00
7	1	Placa Coletora solar	R\$ 600,00
8	1	Bomba de circulação	R\$ 200,00
9	4	Medidor de Pressão	R\$ 130,00
10	3	Termopar	R\$ 30,00
11	5	Medidor de Vazão	R\$ 50,00
12	1	Carvão Ativado	R\$ 20,00
13	1	Etanol	R\$ 15,00
Total:			R\$ 4905,00

Fonte: Próprio Autor (2021)

O leitor pode observar pelo valor total do sistema que se trata de um investimento inicial alto quando comparado com os sistemas convencionais por absorção que utilizam compressores, mas a maior viabilidade para implantar tal sistema é o fato de que não se utiliza compressores de ar, onde tais sistema, gastam mensalmente algo em média de R\$ 400,00/mês, dessa forma com a utilização deste sistema, irá garantir uma economia em um ano por voltar de R\$ 4800,00, dessa forma em um ano o sistema estará quase pago e já irá trazer uma grande economia para quem implantar tal sistema.

4.3 APLICAÇÕES DO SISTEMA

As aplicações para o sistema de refrigeração podem ser diversas, pois o sistema traz grandes vantagens em suma implementação, muito embora seu valor de implementação possa ser um pouco alto, grandes vantagens pode ser adquiridas, tanto pelo ponto de vista econômico, onde pode ser observado na capítulo 4, como no ponto de vista ambiental, onde pelo fato de não utilizar compressores de ar em seu sistema, tornará nula a emissão de gases que denigrem

a camada de ozônio, gerando assim impactos nulos que contribuem com a elevação do efeito estufa.

4.3.1 Residências

O fato de o sistema ter um custo um pouco elevado não pode ser levado em consideração quando se trata de uma economia futura, pelo simples fato de não usar compressores, esses sistemas podem ser facilmente implantados em residências atendendo várias necessidades de uma residência.

Uma das principais aplicações para o uso do sistema por adsorção é a climatização de ambiente, pois por mais que o sistema não consiga coeficientes de desempenho que se assemelham aos sistemas por absorção que utilizam compressores, este sistema garante um conforto térmico razoável, onde pode ser visto no trabalho de (BARRETO, RAFAEL, et., al 2018), o qual realizou um estudo, onde implantou o sistema por adsorção e conseguiu chegar ao estado da arte.

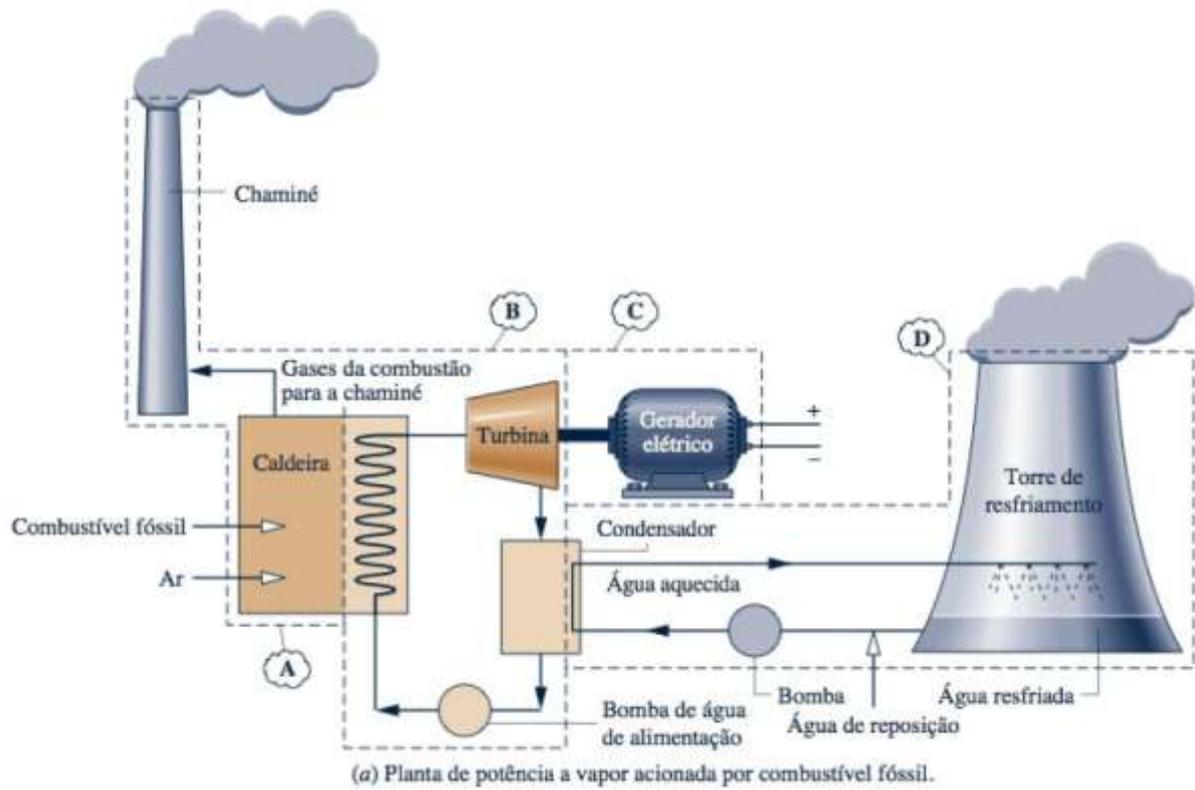
Outra aplicação totalmente viável para utilização deste sistema em residências é a refrigeração, onde pode ser usada de diversas formas, tanto para realizar resfriamento de produto alimentícios, como para a refrigeração de água, onde tal sistema pode ser visualizado na figura 22.

4.3.2 Indústrias

Assim como nas residências, diversas aplicações se tornam possível com a utilização deste sistema, onde a primeira aplicação, assim como na residência é a possibilidade de refrigeração de água e de alimentos. Claro que dependendo da indústria o investimento deverá ser bem mais alto para que possa atender as demandas que ela necessita.

As indústrias geradoras de energia elétrica, tanto termo elétricas, hidrelétricas, ou pequenas indústrias que necessitem que alguns equipamentos sejam resfriados, este sistema pode ser uma ótima opção, principalmente no setor de geração de energia, onde nessas indústrias grande parte do calor gerado “energia” são desperdiçados ao sair da turbina, e tal sistema necessita utilizar condensadores e também realizar o resfriamento dos demais componentes, dessa forma o sistema de refrigeração por adsorção, por necessitar de pouco calor para o seu funcionamento, onde até mesmo placas solares podem tornar seu funcionamento possível, o calor de rejeito que sai da turbina será mais que necessário para o sistema, garantindo assim uma grande economia, na parte de resfriamento do seus equipamentos, pois utilizará o calor rejeitado pela turbina, e descarta componentes anteriores que tinham essa função.

Figura 24. Planta de potência a vapor



Fonte: Moran (2013)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado o levantamento de diversos trabalhos anteriores realizados pelos mais diversos cientistas e pesquisadores do mundo, onde pode ser observado que a cada trabalho foi se alcançando resultados cada vez melhores e também pode ser observado a perfeita funcionabilidade do sistema.

A principal contribuição feita com este trabalho foi o dimensionamento e o levantamento dos materiais para a confecção do reator, em que foi elaborado os desenhos de cada componente bem como sua modelagem mecânicas através de softwares de desenho como o *SolidWorks*⁹, para em seguida ser realizado a simulação da montagem do equipamento e garantindo assim um previa de como será o layout do sistema.

Também foi abordado a viabilidade econômica para a implantação do sistema, em que pode ser observado, que por mais que tenha um valor um pouco elevado, tal sistema garantirá um retorno rápido em menos de um ano para quem ter este sistema implantado em sua residência ou indústria.

As aplicações para tal sistema pode garantir no futuro possíveis soluções para redução de emissão de gases e a redução do custo de energia elétrica, bem como possível aplicação em diversos setores como o de geração de energia para reutilizar calor despejado pelas turbinas para garantir o resfriamento de outros componentes da central geradora.

Com os resultados alcançados neste trabalho o conforto térmico para a humanidade dá um passo à frente, pois não irá garantir apenas um custo baixo de seu uso, mas também garantir uma maior sustentabilidade do meio ambiente.

Com este trabalho diversas portas se abrem para que tenha continuidade, onde pode-se partir da simulação e modelagem matemática do sistema, e confecção do sistema físico para que se possa visualizar seu funcionamento real comparando-o com o estado da arte.

⁹ SolidWorks: Software de Modelagem 3D.

6 REFERÊNCIAS

- ALAM, K.C.A., **Design aspects of adsorption refrigeration systems, Ph.D. Thesis, Tokyo, University of Agriculture and Technology, Japan, 2001.** In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- AL MERS, A., AZZABAKH, A., MIMET, A., EL KALKHA, H. **Optimal design study of cylindrical finned reactor for solar adsorption cooling machine working with activated carbon–ammonia pair.** Applied Thermal Engineering 26, 2006, p.1866–1875. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- AMORIM, J.A. (LES/UFPB) **Estudo teórico e experimental do calor específico e da cinética de sorção em um reator fixo.** Tese de doutorado, PPGEM, UFPB, João Pessoa, 2012. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- BARRETO; RAFAEL **Ar condicionado solar – Ciclo de adsorção,** CEFET, MG 2018.
- BERDJAA, M., ABBADA, B., YAHIA, F., BOUZEFORA, F., OUALIA, M. **Design and realization of a solar adsorption refrigeration machine powered by solar energy.** Energy Procedia, 2014, v. 48, p. 1226 – 1235. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- BRANDON, B., BAILLY, A., MEUNIER, F. **Thermodynamic apparatus for cooling and heating by adsorption on a solid adsorbent and process for using the same.** U.S. Pat. 4548046. Assignee: CNRS. 1984, 1985. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- CONNOLLY, G. C., MILLER, E.B. **Refrigeration process and adsorbents therefor.** U.S. Pat. 1947381 A. 1930,1934. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- DEMIR, H., MOBEDI, M., SEMRA, Ü. **A review on adsorption heat pump: Problems and solutions. Renewable and Sustainable.** Energy Reviews, 2008, v. 12, p. 2381–2403. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- DIENG, A.O., WANG, R.Z. **Literature review on solar adsorption technologies for ice-making and air- conditioning purposes and recent developments in solar technology.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2001, v. 5, p. 313–342. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- DUBININ, M. M., RADUSHKEVICH, L.V. **The equation of the characteristic curve of the activated charcoal, Proc. Acad. Sci. USSR Phys. Chem. Sect.,**1947, v. 55, p. 331–337. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.
- DUBININ, M. M., ASTAKHOV, V. A. **Description of adsorption equilibria of vapors on zeolites over wide ranges of temperature and pressure:** In Molecular Sieve Zeolites-II, American Chemical Society, Washington, D.C., 1971, p. 69-85. In: VODIANITSKAIA,

Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

DUBININ, M.M., ASTAKHOV, B.A. **Development of the Concepts of Volume Filling of Micropores in the Adsorption of Gases and Vapors by Microporous Adsorbents.** Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, Division of chemical science, 1971, v. 20, n. 1, p. 3–7. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

FRAZZICA, A., VASTA, S., RESTUCCIA, G., CACCIOLA, G. **Design and construction of a solar cooling system for residential applications based on na adsorption chiler prototype.** Proc. of the International Congress of Refrigeration. Prague, 2011. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

GONG, L.X., WANG, R. Z., XIA, Z.Z., CHEN, C.J. **Adsorption Equilibrium of Water on a Composite Adsorbent Employing Lithium Chloride in Silica Gel.** J. Chem. Eng. Data, 2010, v. 55, n. 8, p. 2920-2923. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

GONG, L.X., WANG, R. Z., XIA, Z.Z., CHEN, C.J. **Design and performance prediction of a new generation adsorption chiller using composite adsorbent.** Energy Conversion and Management, 2011, n. 52, p. 2345–2350. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

HILDBRAND, C., DIND, Ph., PONS, M., BUCHTER, F., **A new solar powered adsorption refrigerator with high performance.** Solar Energy, 2004, v. 77, p. 311–318. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

GRENIER, Ph., GUILLEMINOT, J.J., MEUNIER, F., PONS, M. **Solar powered solid adsorption cold store.** Journal of Solar. Energy Engineering 1988;110(3):192–7. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

GUILLEMINOT, J.J., MEUNIER, F., MESCHLER, B. **Étude des cycles intermitentes à adsorption solide pour la refrigeration solaire.** Revue Physique Appliquée, 1980, v.15, p. 441. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

GUILLEMINOT, J.J., MEUNIER, F., PAKLEZA, J. **Heat and mass transfer in a non-isothermal solid adsorbent reactor: a uniform pressure - non-uniform temperature case.** Int. J. Heat Mass Transfer, 1987. v. 30, n. 8, p. 1595-1606. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

JAKOB U., MITTELBAACH W. **Development And Investigation Of A Compact Silica Gel/Water Adsorption Chiller Integrated In Solar Cooling Systems.** VII Minsk International Seminar “Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources”, Minsk, Belarus, 8–11 Setembro, 2008. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

LEITE, A.P.F., DAGUENET, M. (LES/UFPB) **Performance of a new solid adsorption ice maker with solar energy regeneration.** *Energy Conversion & Management*, 2000, v. 41, p. 1625-1647. In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.** PROGEN UFPB, 2017.

LEITE, A. P F et al. **Experimental thermodynamic cycles and performance analysis of a solar-powered adsorptive icemaker in hot humid climate.** *Renewable Energy*, v. 32, n. 4, p. 697–712, 2007. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

LI, G.; HWANG, Y.; RADERMACHER, R. **Experimental investigation on energy and exergy performance of adsorption cold storage for space cooling application.** *International Journal of Refrigeration*, v. 44, p. 23–35, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.05.013>>. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

LUO, H. L. et al. **Experimental investigation of a solar adsorption chiller used for grain depot cooling.** *Applied Thermal Engineering*, v. 26, n. 11–12, p. 1218–1225, 2006. In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.** PROGEN UFPB, 2017.

LUO H.L., WANG R.Z., DAI Y.J., WU J.Y., SHEN J.M., ZHANG B.B. **An Efficient Solar-Powered Adsorption Chiller And Its Application In Low-Temperature Grain Storage,** *Solar Energy*, 2007, v. 81, n. 5, p. 607-613. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

LIU, Y.L., WANG, R.Z., XIA, Z.Z. **Experimental performance of a silica gel-water adsorption chiller.** *Applied Thermal Engineering*, 2005, v. 25, n. 2-3, p. 359-375. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

LU, Z.S., WANG, R.Z., XIA, Z.Z., WU, Q.B., SUN, Y.M., CHEN, Z.Y. **An analysis of the performance of a novel solar silica gel–water adsorption air conditioning.** *Applied Thermal Engineering*, v. 31, n. 17–18, p. 3636–42, 2011. . In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

LU, Z.S., WANG, L.W., WANG, R.Z. **Experimental Analysis Of An Adsorption Refrigerator With Mass And Heat-Pipe Heat Recovery Process.** *Energy Conversion and Management*, 2012, v. 53, n.1, p. 291-297. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

LU, Z.S., WANG, R.Z., XIA, Z.Z., LU, X.R., YANG, C.B., MA, Y.C., MA, G.B. **Study of a novel solar adsorption cooling system and a solar absorption cooling system with new CPC collectors.** *Renewable Energy*, 2013, v. 50, p. 299-306. . In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

MEUNIER, F. **After 35 years Adsorption Heat Pumps R&D: What Perspectives?** Palestra apresentada por ocasião dos 40 anos do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal

da Paraíba. João Pessoa, dezembro de 2013. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

MEUNIER F., MISCHLER B., GUILLEMINOT J.J., SIMONOT P., **On the use of Zeolite 13X-H2O Intermittent Cycle for Application to Solar Climatization of Building**, SUN II, 1979, v. 1. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

MEUNIER, F., MUGNIER, D. *La Climatisation Solaire*. Dunod. Paris, 2013, 244 p. MILLER, E. B., **The development of silica gel refrigeration, refrigerating engineering**. American Society of Refrigerating Engineers, 1929, v. 17(4), p. 103-108. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

MITRA, S., OH, S.T., SAHA, B.B., DUTTA, P., SRINIVASAN, K. **Simulation study of the adsorption dynamics of cylindrical silica gel particles**. Heat Trans. Res. n. 46, p.123–140, 2015. In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo**. PROGEN UFPB, 2017.

MITRA, Sourav et al. **Development and performance studies of an air cooled two-stage multi-bed silica-gel + water adsorption system**. International Journal of Refrigeration, v. 67, p. 174–189, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.10.028>>. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

METZ, Bert et al. **Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System**. Group, v. 1, p. 478, 2007. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H.N; BOETTNER, D.D; BAILEY, M.B. **Fundamentals of engineering thermodynamics**. Seventh ed. [S.l.]: Wiley, 2011.

MURADOV, D., SHADIEV, O. **Experimental Investigation of the Operation of an Intermittent Solar Refrigerator**. Proc. All Union Conf. on Utilisation of Solar Energy (em russo) VNIIT, Moscou, 1969. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

OLIVEIRA, R.G. **Avaliação de um Sistema de Refrigeração por Adsorção para Produção de Gelo, Operando Diferentes Tipos de Ciclo com Baixas Temperaturas de Geração**. Tese de Doutorado. UNICAMP, 2004. 185p. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

PONS, M. e GUILLEMINOT, J.J. **Design of and Experimental Solar-Powered, Solid-Adsorption Ice Maker**. Transactions of the ASME Journal of Solar Energy Engineering, 1986. v. 108, n.4, p. 332-337. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

PONS, M., GRENIER, Ph. **Experimental data on a solar-powered ice maker using activated carbon and methanol adsorption pair**. J Sol Energy Engineering, v. 109, n. 4, p. 303–10, 1987. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a**

adsorção para sistemas de ar condicionado solar. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

RADERMACHER, R., LEE, H., LING, J., AUTE, V., HWANG, Y. **Outlook on the future: refrigeration, heating, ventilation & air conditioning technologies.** Apresentado ao Institute of Refrigeration, Reino Unido (www.ior.org). University of Newcastle, 1º de outubro de 2015. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

RAHMAN A.F.M.M., UEDA Y., AKISAWA A., MIYAZAKI T., SAHA, B.B. **Design and Performance of an Innovative Four-Bed, Three-Stage Adsorption Cycle.** *Energies*, 2013, n. 6, p. 1365-1384. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

REZK, A.R.M. **Theoretical And Experimental Investigation of Silica Gel/Water Adsorption Refrigeration Systems.** Ph.D. Thesis. School of Mechanical Engineering, College of Engineering and Physical Science. University of Birmingham, Julho de 2012. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

REZK, A. R M; AL-DADAH, R. K. **Physical and operating conditions effects on silica gel/water adsorption chiller performance.** *Applied Energy*, Paris, v. 89, n. 1, p. 142–149, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.021>>. Acesso em: 15 jul. 2017. In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.** PROGEN UFPB, 2017.

REZK, Ahmed et al. **Investigation of Ethanol/metal organic frameworks for low temperature adsorption cooling applications.** *Applied Energy*, v. 112, p. 1025–1031, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.041>>. In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.** PROGEN UFPB, 2017.

RIFFEL D.B et al. **Ar condicionado solar por adsorção: Fundamento e Estado da Arte.** I Congresso Brasileiro de energia solar, Fortaleza, Brasil, 2017. In: In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.**

RIFFEL, D.B. (LES/UFPB) **Estudo teórico e experimental da dinâmica e da otimização de refrigeradores térmicos por adsorção.** Tese de doutorado, PPGEM, UFPB, João Pessoa, 2008. In: SOARES, J.J. SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.** PROGEN UFPB, 2017.

RIFFEL, Douglas B. et al. **Transient modeling of an adsorber using finned-tube heat exchanger.** *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 53, n. 7–8, p. 1473–1482, 2010. In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.** PROGEN UFPB, 2017.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Processes.** John Wiley and Sons, New York, 1984. 433 p. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

SAHA, B.B., BOLEMAN, E.C., KASHIWAGI, T. **Experimental investigation of sílica gel-water adsorption refrigeration cycle — the influence of operating conditions on cooling**

output and COP. ASHRAE Transactions, n. 101, p. 425–31, 1995. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

SAHA, B.B., AKISAWA, A., KASHIWAGI, T. **Solar/waste heat driven two-stage adsorption chiller: the prototype.** Renewable Energy, 2001, v. 23, n. 1, p. 93–101. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

SAHA, B.B., KOYAMA S, NG, K.C., HAMAMOTO Y., AKISAWA A., KASHIWAGI T. **Study on a dual-mode, multi-stage, multi-bed regenerative adsorption chiller.** Renewable Energy, 2006. v. 31, n. 13, p. 2076–90. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

SAHA, B.B., EL-SHARKAWY, I.I., CHAKRABORTY, A., KOYAMA, S. **Study on a activated carbon fibereethanol adsorption chiller: Part I system description and modelling.** International Journal of Refrigeration, 2007. v. 30, p. 86-95. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

SCHWAMBERGER V., GLÜCK C., JOSHI C., SCHMIDT F. P. **A Novel Adsorption Cycle with Advanced Heat Recovery For High Efficiency Air-Cooled Adsorption Chillers.** Proc. of the International Congress of Refrigeration. IIR, Praha, 2011. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo.** PROGEN UFPB, 2017.

TAMAINOT-TELTO, Z., CRITOPH, R.E. **Adsorption Refrigerator Using Monolithic Carbon Ammonia Pair.** Int. J. Refrig., 1997. v. 20, n. 2, p. 146-155. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

TAN, Y.K., FENG, Y., CUI, N. **Study of solar powered adsorption icemaker.** ACTA Energiae Solaris Sinica v. 13, n. 3, p. 255–8, 1992. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

TCHERNEV, D.I. **Heat pump energized by low-grade heat source.** U.S. Pat. 4637218. 1985, 1987. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

TCHERNEV, D.I. **Solar Energy Application of Natural Zeolites.** Natural Zeolites: Occurrence, Properties and Use, Pergamon Press, London, 1978. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

VIEIRA, H. M. (LES/UFPB) **Estudo experimental e teórico de um resfriador de água por adsorção usando energia solar.** Tese de doutorado, PPGEM, UFPB, João Pessoa, 2013. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

VODIANITSKAIA, P.J. et al. **Experimental Chiller with Silica Gel: Adsorption Kinetics**. Energy Conversion and Management journal, v. 132, p. 172–179, 2017.

VODIANITSKAIA, P., KLÜPPEL, R.P. (LES/UFPB) **Geladeira Solar de Adsorção**. Anais do III Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1984.

VIEIRA, H.M., VODIANITSKAIA, P.J., SANTOS, J., GURGEL, J.M. (LES/UFPB) **Adsorption kinetics analysis of water on silica gel in two configurations of tubular reactors**. IIR, Proceedings of the 24th International Congress of Refrigeration. IIR, Yokohama, 2015.

UNEP. **Synthesis of the 2014 Reports of the Scientific, Environmental Effects, and Technology & Economic Assessment Panels of the Montreal Protocol**. United Nations Environment Programme (UNEP), n. October, p. 27, 2015.

UYUN, Aep Saepul et al. **High performance cascading adsorption refrigeration cycle with internal heat recovery driven by a low grade heat source temperature**. Energies, v. 2, n. 4, p. 1170–1191, 2009. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

WANG D., ZHANG J., TIAN X., LIU D., SUMATHY K. **Progress in silica gel–water adsorption refrigeration technology**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 30, p. 101, 2014. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

WANG, D.C., WU, J.Y., XIA, Z.Z., ZHAI, H., WANG R.Z., DOU, W.D. **Study of a novel silica gel–water adsorption chiller**. Part II. Experimental study. Int J Refrig. v. 28, n. 7, p. 1084–91, 2005. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

WANG, L.W., WANG, R.Z., XIA, Z.Z., WU, J.Y. **Studies On Heat Pipe Type Adsorption Ice Maker For Fishing Boats**. International Journal of Refrigeration, 2008. v. 31, n. 6, p. 989–997. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

WANG, L.W., WANG, R.Z., OLIVEIRA R.G. **A Review on Adsorption Working Pairs for Refrigeration**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 12, n. 3, April, p. 518–534, 2009. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

WANG K., WU J.Y., WANG R.Z., WANG L.W. **Effective Thermal Conductivity Of Expanded Graphite-CaCl₂ Composite Adsorbent For Chemical Adsorption Chillers**. Energy Conversion and Management, v. 47, n. 13 -14, p. 1902–1912, 2006. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

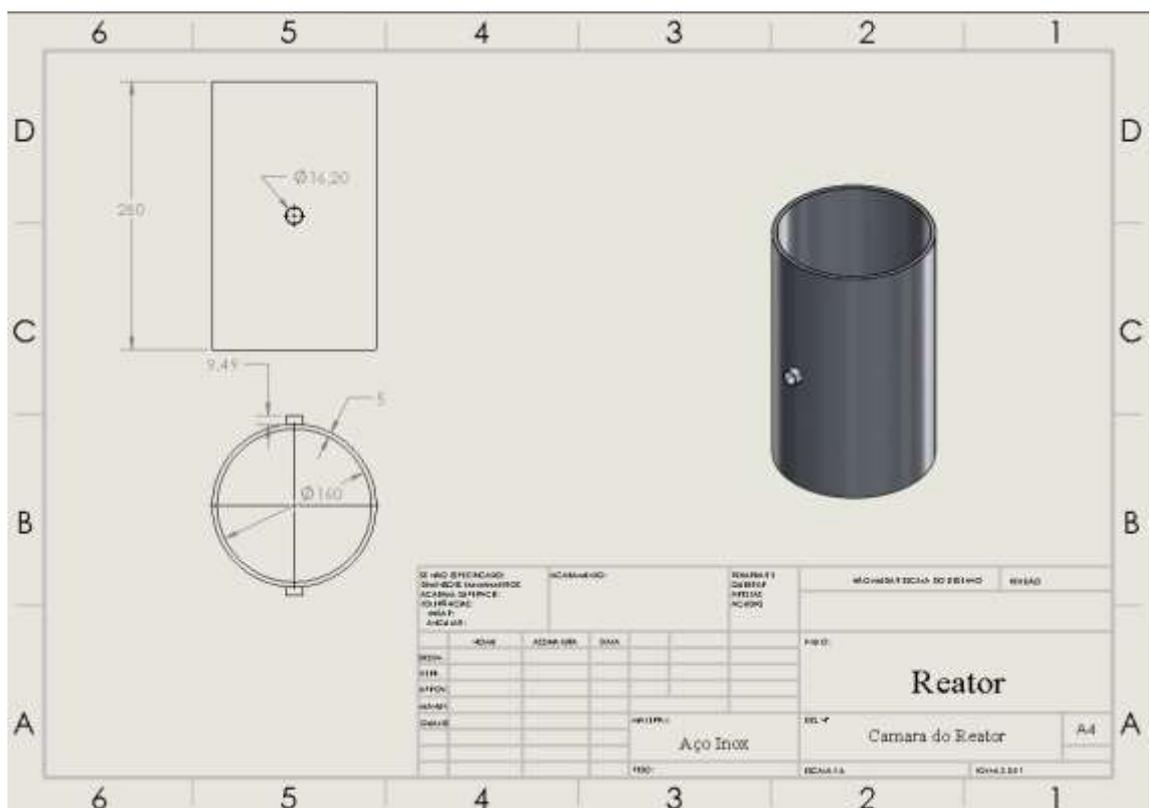
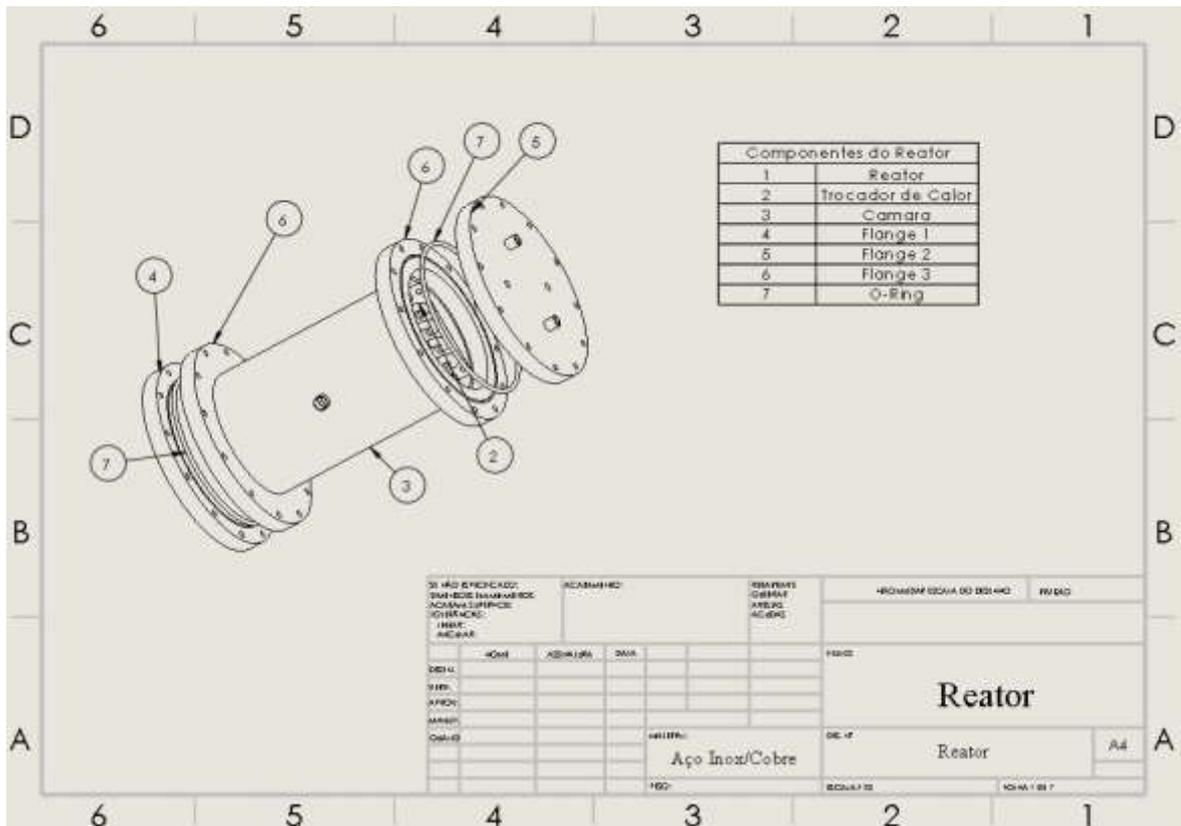
WANG, R.Z., XIA, Z.Z., WANG, L.W., LU, Z.S., LI, S.L., LI, T.X., WU, J.Y., HE, S. **Heat Transfer Design In Adsorption Refrigeration Systems For Efficient Use of Low-Grade Thermal Energy**, Energy, v. 36, n. 9, p. 5425–5439, 2011. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

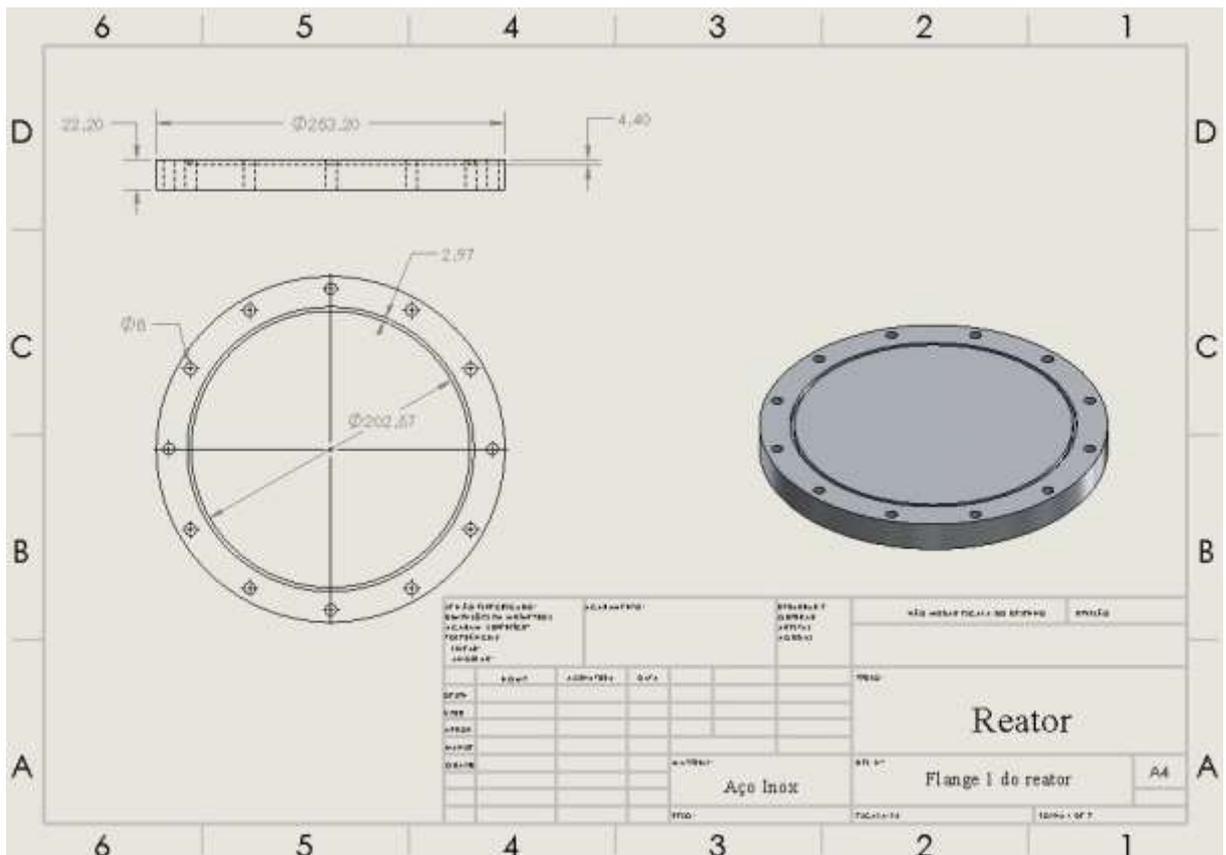
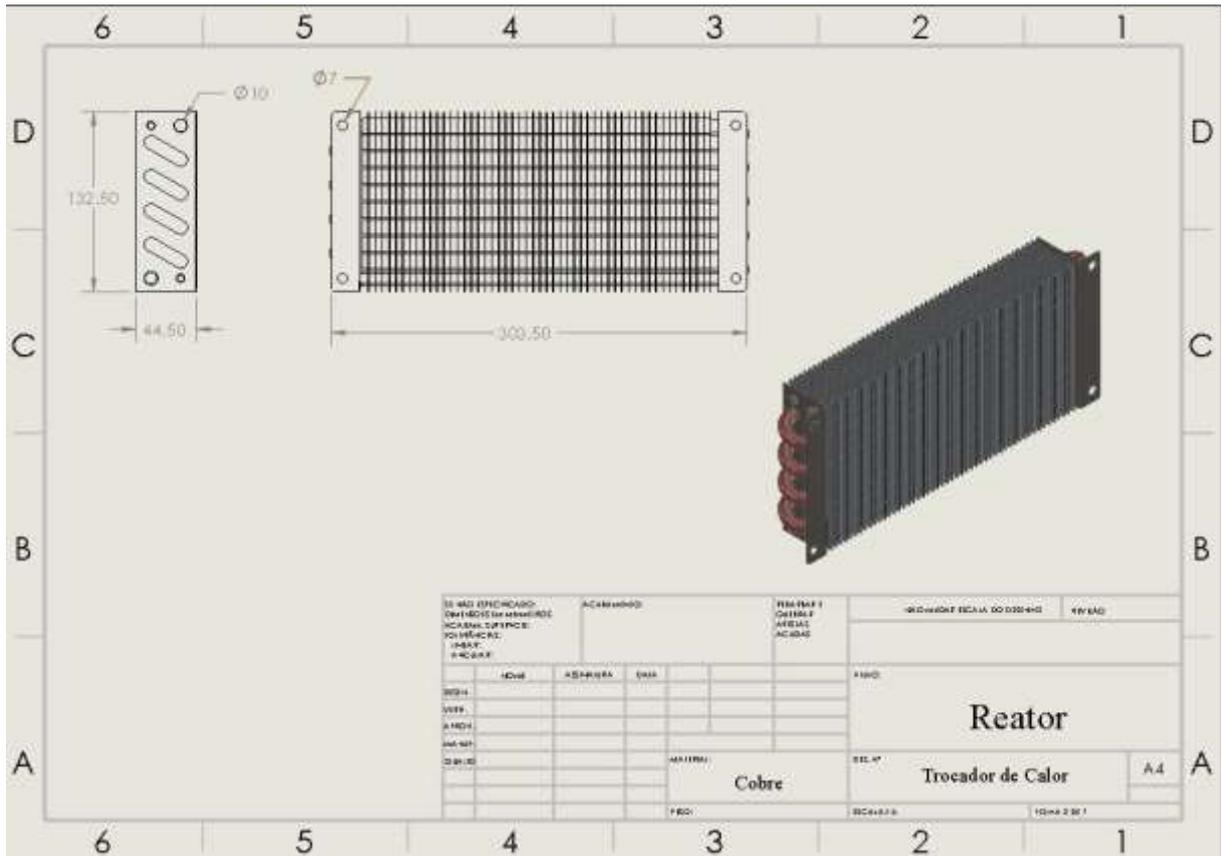
WANG, R.Z. **Adsorption Refrigeration Technology: Theory and Application**. John Wiley & Sons Inc., March 2014. In: VODIANITSKAIA, **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar**. Tese de doutorado, UFPB, João Pessoa, 2016.

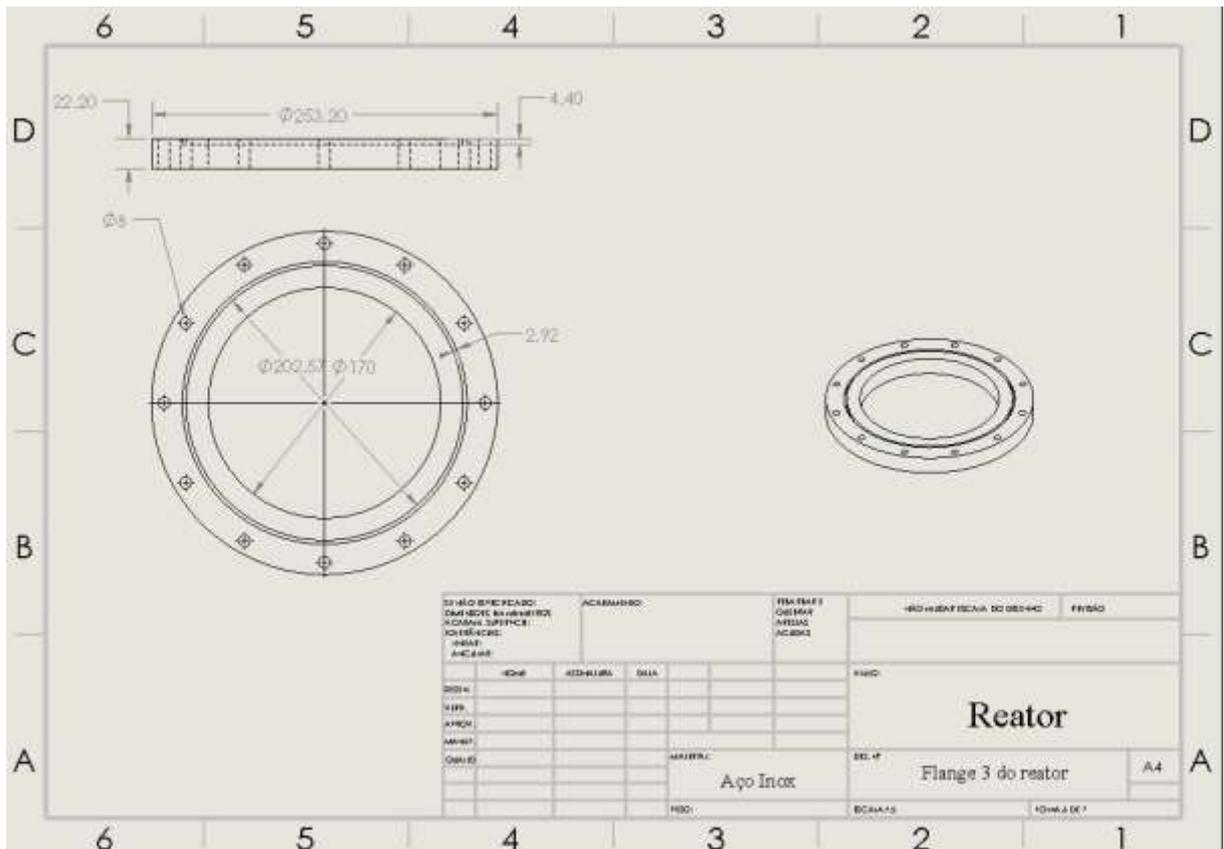
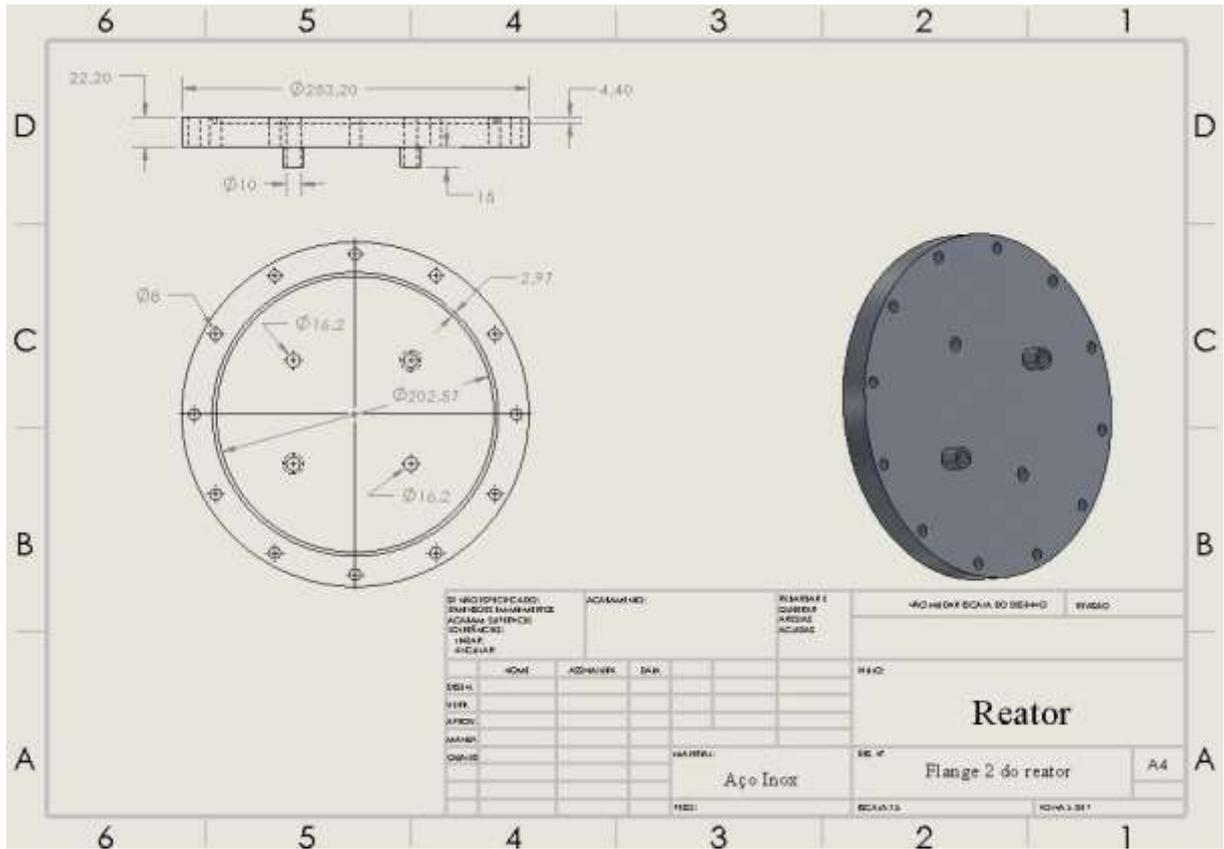
YANG D Wang, J Zhang, N Li, K Sumathy, **Study of adsorption characteristics in silica gel-water adsorption refrigeration**, 2006 In: SOARES, J.J. **Desenvolvimento experimental de um chiller a adsorção com dois reatores: otimização de processo com alocação de tempo de ciclo**. PROGEN UFPB, 2017.

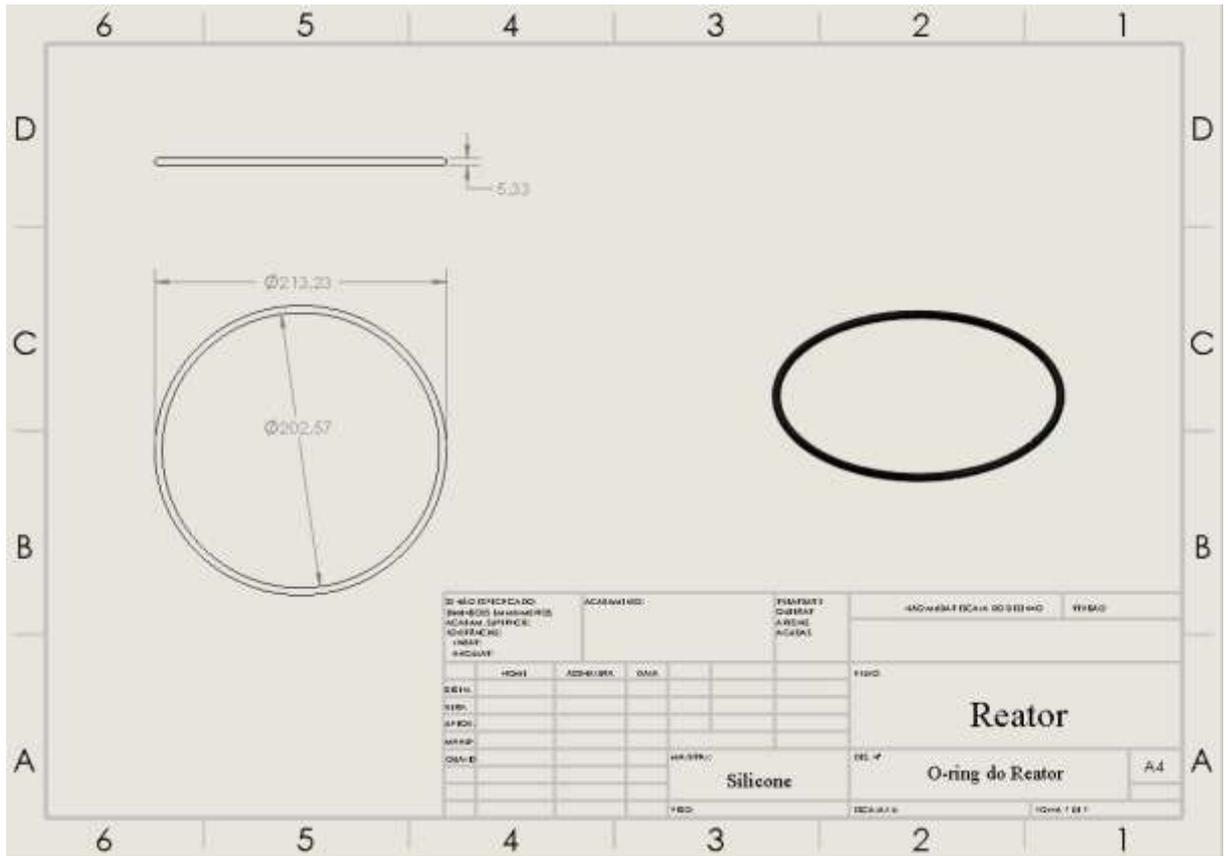
7 APÊNDICE

7.1 DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES DO REATOR

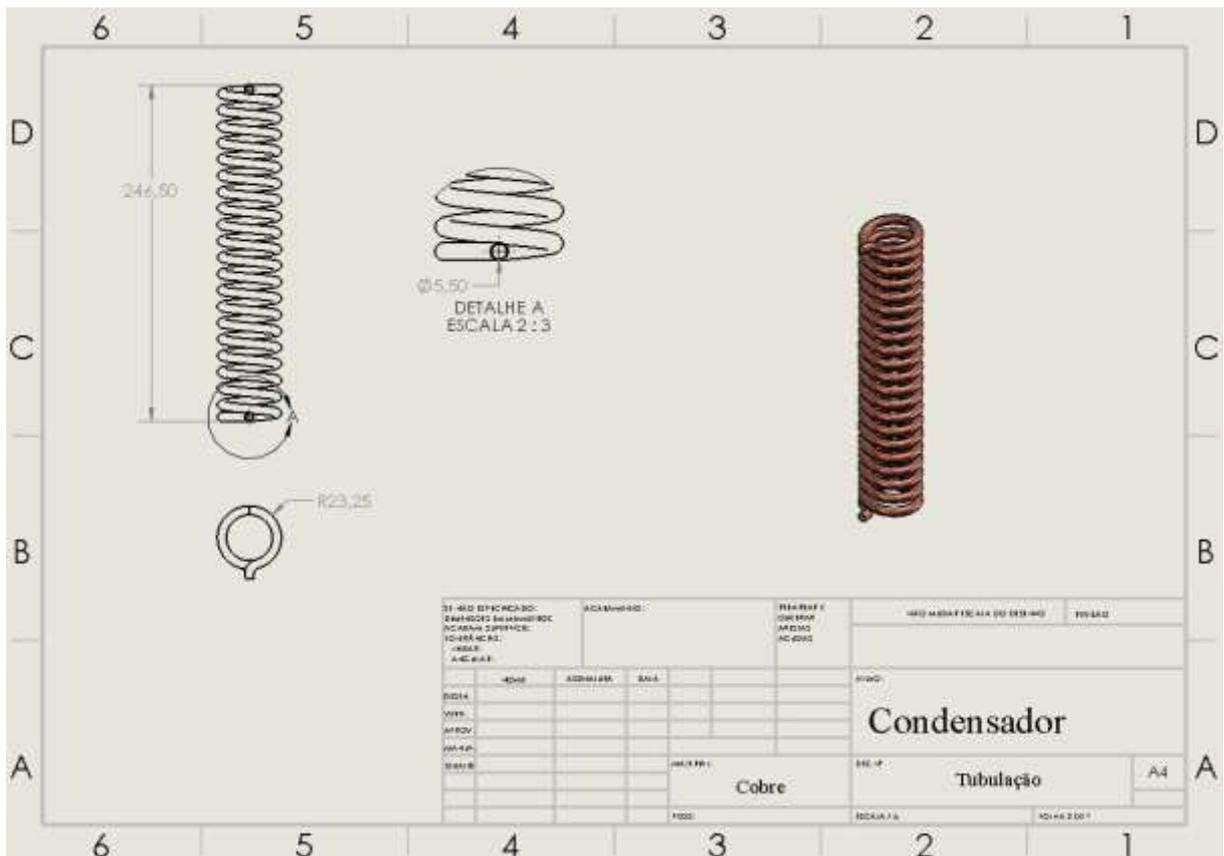
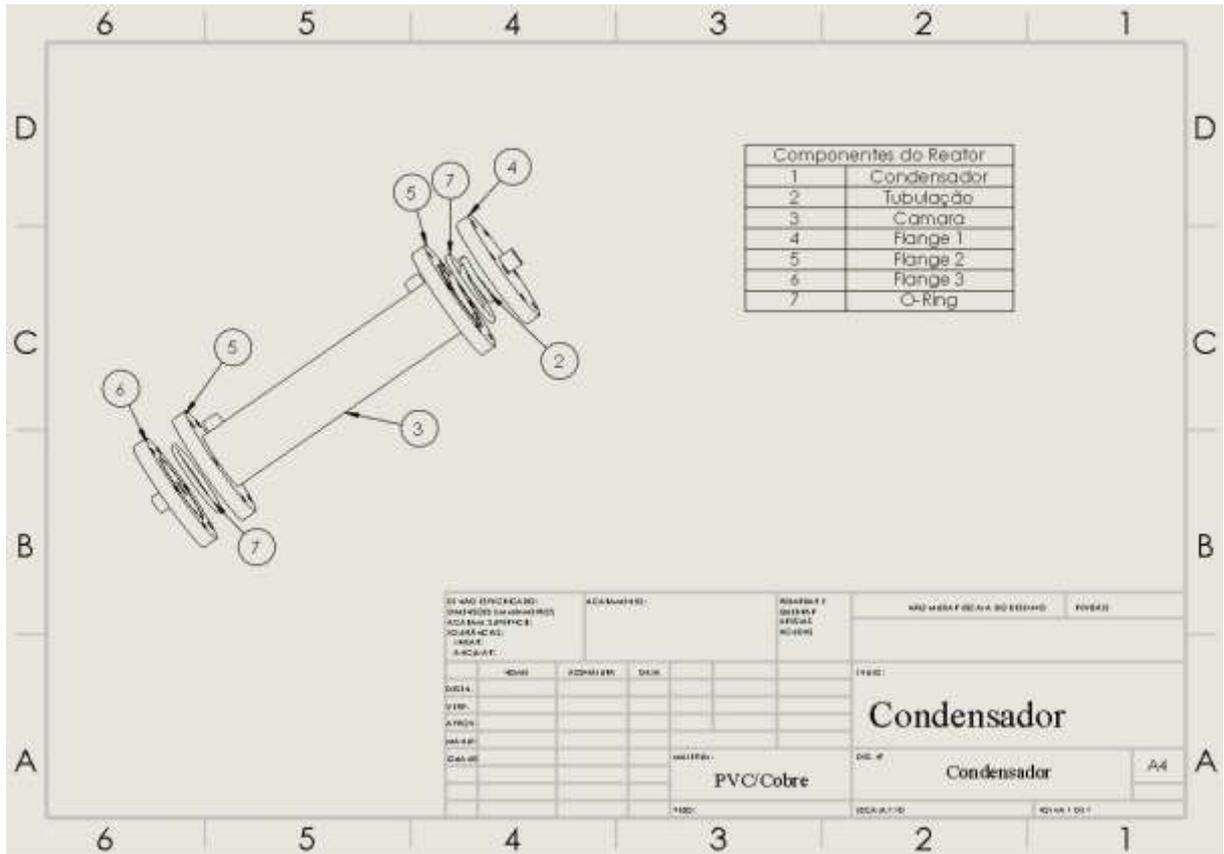


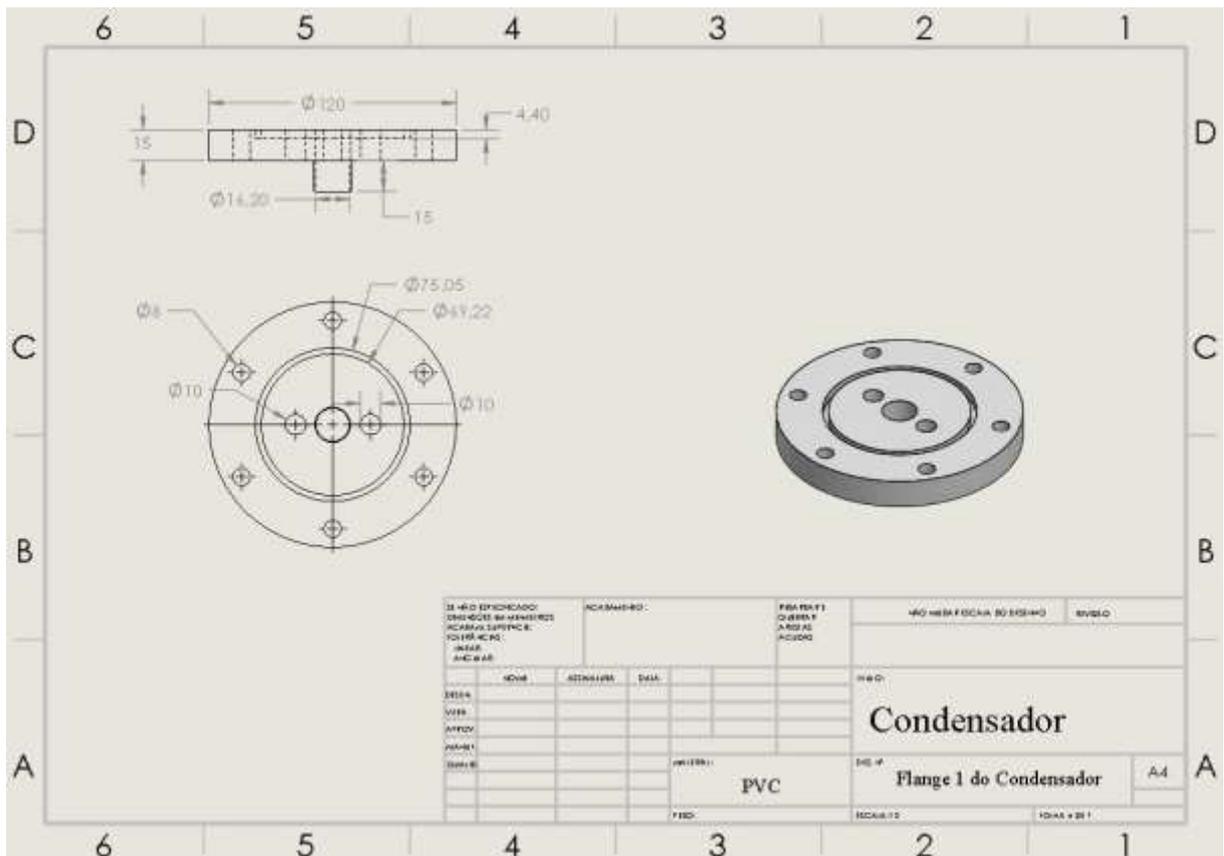
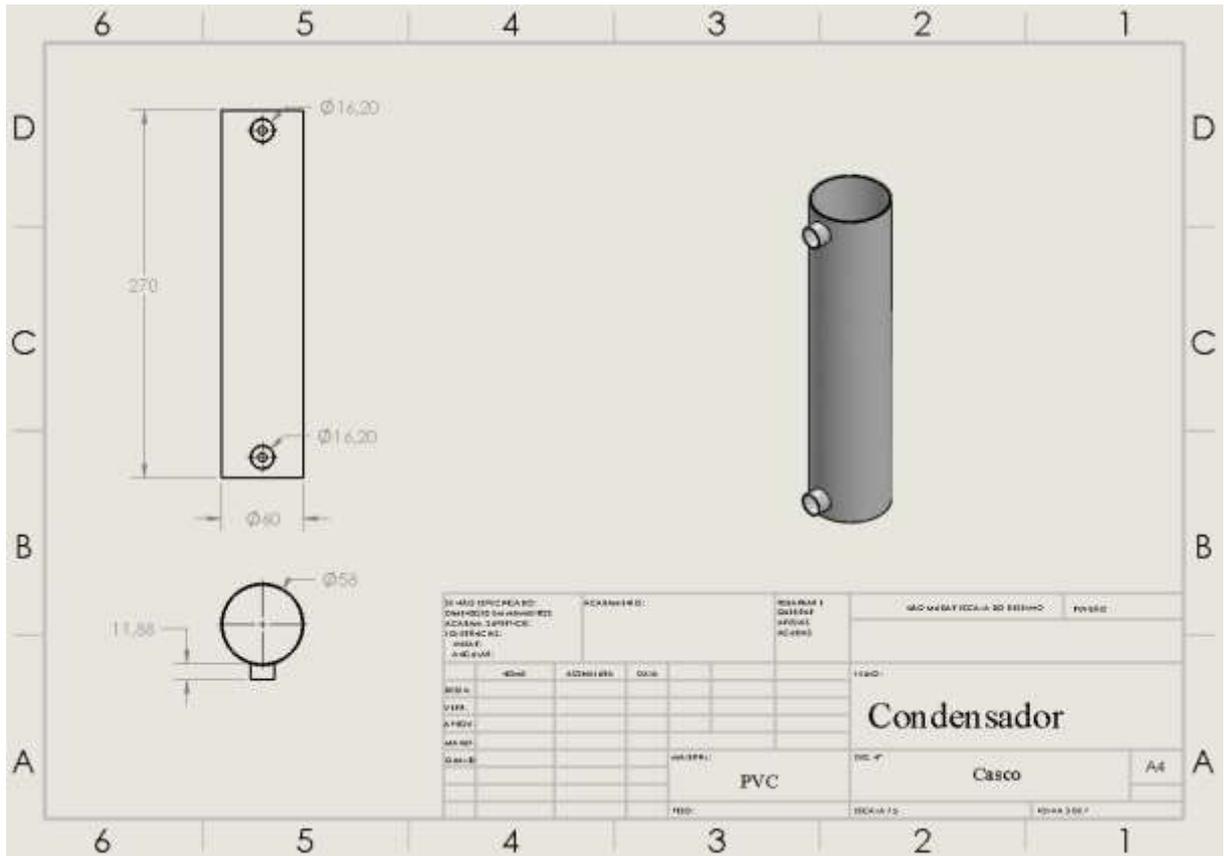


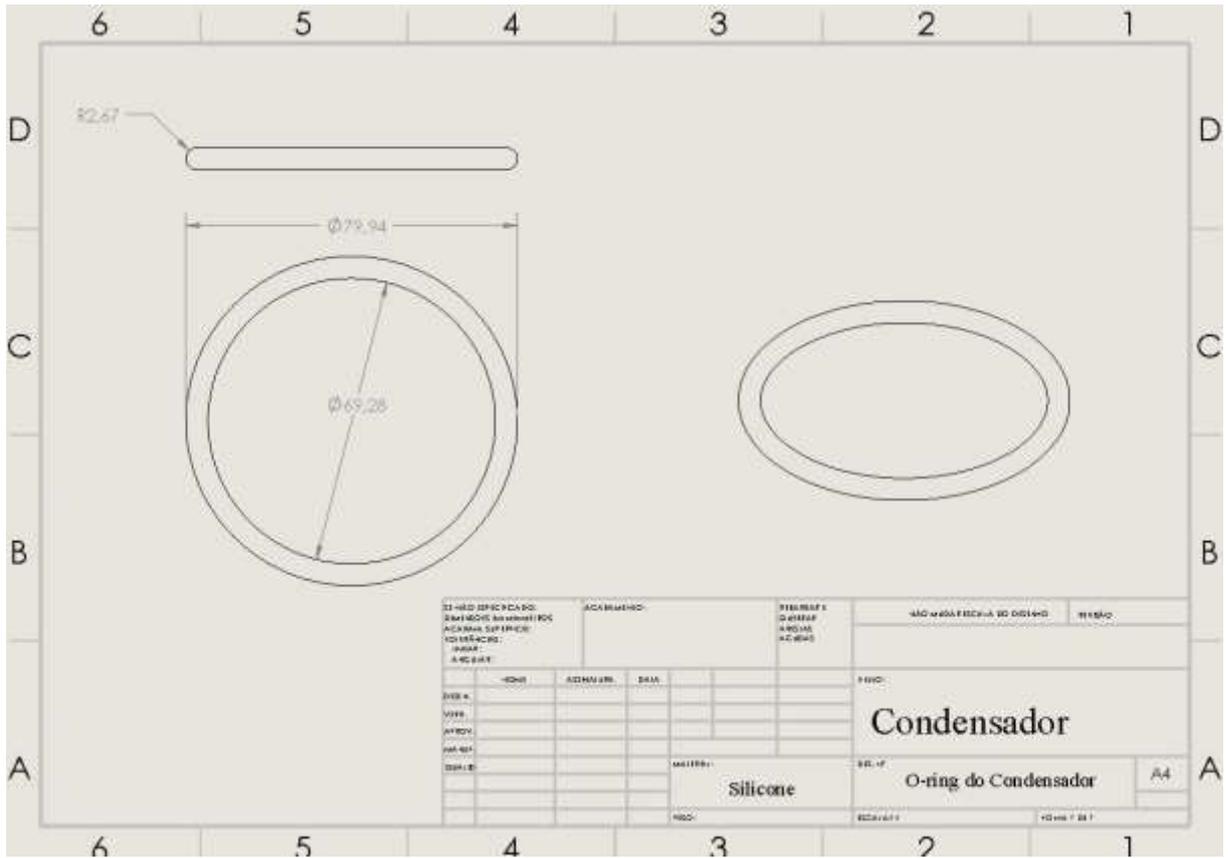


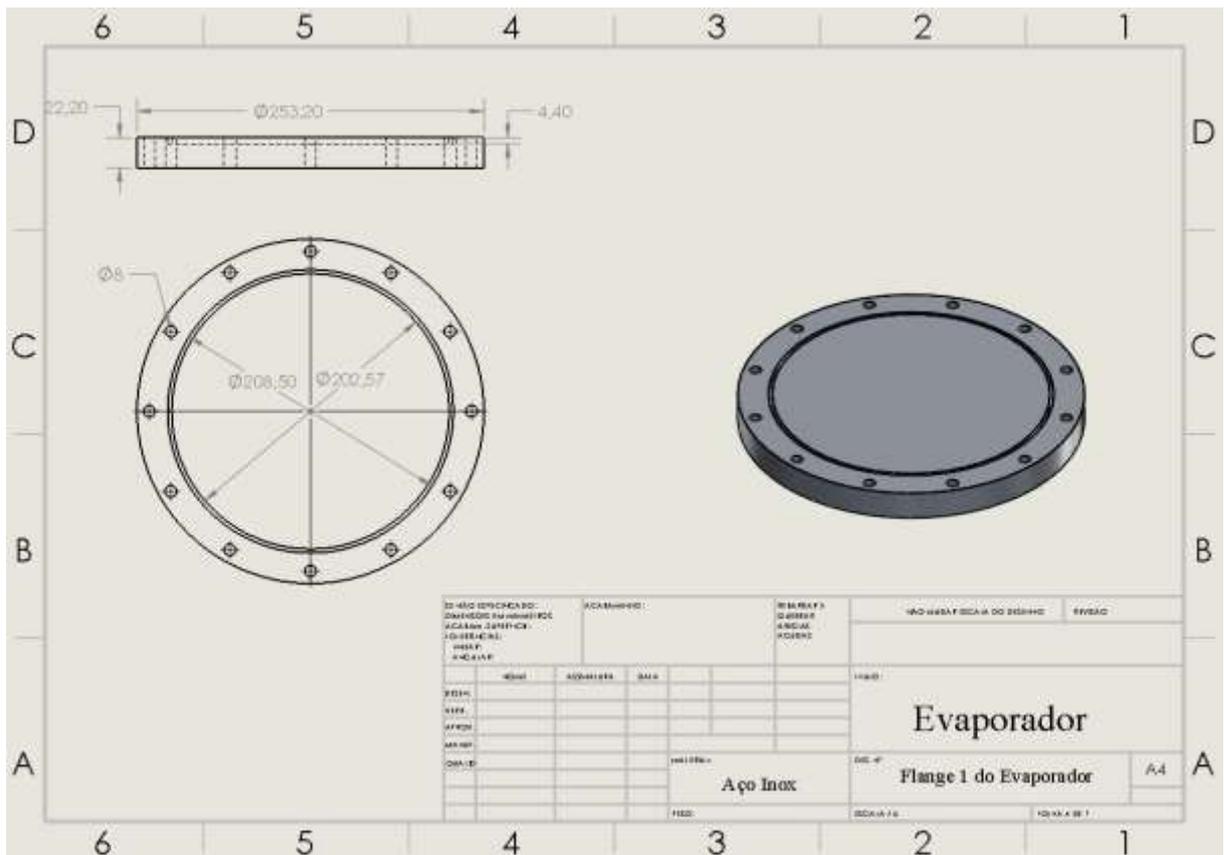
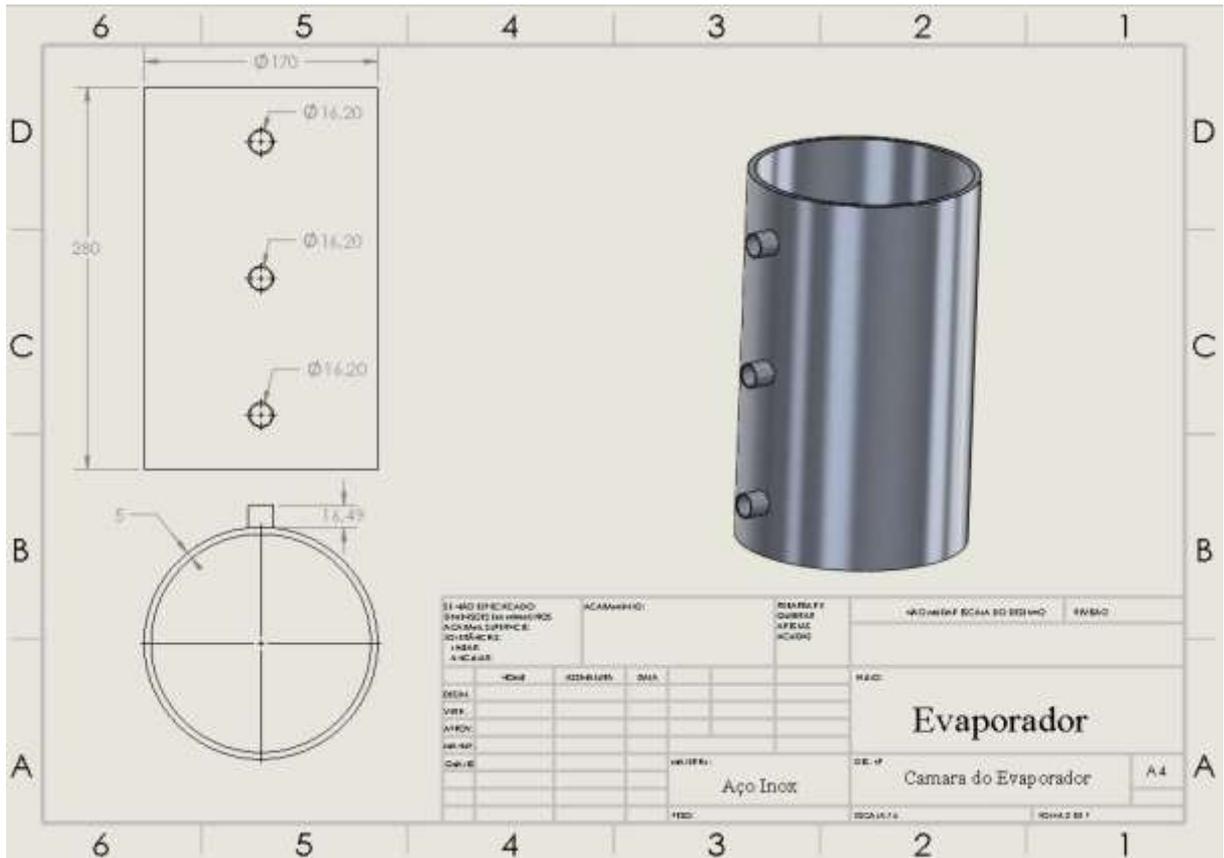


7.2 DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES DO CONDENSADOR









8 ANEXO

8.1 TERMO DE COMPROMISSO DO ORIENTADO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
Campus Manaus Centro



TERMO DE COMPROMISSO DO ORIENTADO SOBRE AS NORMAS/REGULAMENTOS DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Francisco Mikael Alves da Silva estudante regulamente matriculado no curso superior de engenharia mecânica do Instituto Federal do Amazonas, Campus Manaus Centro, estou ciente e concordo com as normas/regulamento instituídos para o desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso. Outrossim, declaro seguir tal regimento. Por estar plenamente de acordo firmo o presente.

Manaus – AM, 27 de novembro de 2020.

Assinatura manuscrita em tinta preta de Francisco Mikael Alves da Silva.

Assinatura do estudante