

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
DESIANE MORAIS SILVER
DOUGLAS GOMES MORAES**

**PROJETO DE AR-CONDICIONADO: CLIMATIZAÇÃO
DE UM AMBIENTE AO ATENDIMENTO MÉDICO
COMPARANDO O USO DA ENERGIA ELÉTRICA
CONVENCIONAL COM A ENERGIA
FOTOVOLTAICA**

**Taubaté - SP
2023**

**DESIANE MORAIS SILVER
DOUGLAS GOMES MORAES**

**PROJETO DE AR-CONDICIONADO: CLIMATIZAÇÃO
DE UM AMBIENTE AO ATENDIMENTO MÉDICO
COMPARANDO O USO DA ENERGIA ELÉTRICA
CONVENCIONAL COM A ENERGIA
FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Orientador(a): Prof^a. Me. Maria Regina
Hidalgo de Oliveira Lindgren

Coorientador: Prof. Me. Paulo Cesar
Corrêa Lindgren

**Taubaté – SP
2023**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau**

S587p

Silver, Desiane Morais

Projeto de Ar-Condicionado: climatização de um ambiente ao atendimento médico comparando o uso da energia elétrica convencional com a energia fotovoltaica/ Desiane Morais Silver, Douglas Gomes Moraes. -- 2023.

81 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2023.

Orientação: Prof. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica.

Coorientação: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Ar-condicionado. 2. Dimensionamento. 3. Refrigeração. 4. Energia Solar. 5. Placa Fotovoltaica. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica. II. Moraes, Douglas Gomes.

CDD – 658.5

DESIANE MORAIS SILVER
DOUGLAS GOMES MORAES

PROJETO DE AR-CONDICIONADO: CLIMATIZAÇÃO DE UM AMBIENTE AO ATENDIMENTO MÉDICO COMPARANDO O USO DA ENERGIA ELÉTRICA CONVENCIONAL COM A ENERGIA FOTOVOLTAICA

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

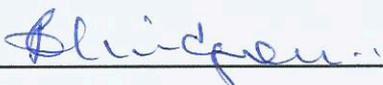
DATA: 17/11/2023

RESULTADO: APROVADO

BANCA EXAMINADORA:

Profª Me. Maria Regina Hidalgo O.Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Prof. Me. Luiz Ricardo Pietro Hercos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Taubaté – SP
2023

DEDICATÓRIA

Dedicatória da Desiane e Douglas

Dedico este trabalho as nossas famílias que sempre deram todo o apoio necessário e aos nossos professores que foram importantes na nossa trajetória, dando todo conhecimento e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos da Desiane e do Douglas

Agradecemos a Deus por ter traçado esse caminho para nós, pelas intuições e por ter dado toda a força necessária para conseguirmos vencer mais essa etapa.

As nossas famílias sempre presentes, dando o apoio e incentivo, juntamente com a professora Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren que desenvolveu em nós esse potencial e nos ajudou muito profissionalmente e em nosso crescimento.

Agradecemos também um ao outro por sempre estarmos presentes, como uma fonte recarregável de energia.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”.
(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Com o aquecimento global e o aumento das temperaturas, muitas residências, empresas e principalmente hospitais e laboratórios, que exigem uma temperatura controlada para funcionamento, utilizam ar-condicionados.

Porém, um ar-condicionado demanda alto índice de energia elétrica devido a necessidade de alta potência para refrigeração, como está demonstrado neste trabalho.

E o mundo hoje em dia, sofre de uma crise energética se tornando necessário alternativas e para isso surgiram as energias renováveis.

No Brasil, como apresenta uma incidência solar grande, uma das energias renováveis mais recomendadas é a fotovoltaica.

Assim, esse trabalho se propõe a dimensionar um projeto de ar-condicionados (central e de ponto a ponto) para um laboratório destinado ao atendimento médico, baseando-se em pesquisas bibliográficas em obras de diversos autores relacionados a esse tema.

Como resultado, temos a comparação desse sistema abastecido com a energia convencional e com a energia fotovoltaica, em relação ao custo de materiais, instalação, manutenção e quanto tempo demorará para haver um retorno financeiro significativo.

Ao final, constatou-se que, para se obter esse retorno financeiro (*payback*), serão necessários aproximadamente 2,5 anos da utilização das placas fotovoltaicas.

Palavras-chave: Ar-condicionado, dimensionamento, refrigeração, energia solar, placa fotovoltaica.

ABSTRACT

With global warming and rising temperatures, many homes, companies and especially hospitals and laboratories, which requires a temperature for operation, use air conditioning.

Porém, um ar-condicionado demanda alto índice de energia elétrica devido a necessidade de alta potência para refrigeração, como está demonstrado neste trabalho.

However, air conditioning requires a high level of electrical energy due to its high needs in refrigeration power, as is demonstrated in this issue.

And the world today is suffering from an energy crisis, making alternatives necessary and for this reason renewable energies have emerged.

In Brazil, as it has a large solar incidence, one of the most recommended renewable energies is photovoltaics.

Thus, this work proposes to design an air conditioning project (central and point-to-point) for a laboratory intended for medical care, based on bibliographical research in works by various authors related to this topic.

As a result, we will have a comparison of this system supplied with conventional energy and photovoltaic energy, in relation to the cost of materials, installation, maintenance and how long it will take to achieve a significant financial return.

In the end, it was found that, to obtain this financial return (payback), it will take approximately 2.5 years of usage of these photovoltaic panels.

Keywords: Air conditioning, sizing, refrigeration, solar energy, photovoltaic plate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema Fechado	17
Figura 2 – Volume de Controle.....	18
Figura 3 – Ciclo Máquina Térmica.....	21
Figura 4 – Ciclo de Carnot.....	22
Figura 5 – Ciclo de Refrigeração.....	23
Figura 6 - Compressor	27
Figura 7 – Compressor por pistão	27
Figura 8 – Compressor por centrifugação	28
Figura 9 - Condensador	28
Figura 10 – Válvula de Expansão.....	29
Figura 11 - Evaporador	30
Figura 12 – Funcionamento ar-condicionado	31
Figura 13 – Esquematização ar-condicionado	31
Figura 14 - Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica (l) e calor específico (c) de materiais	33
Figura 15 - Calor específico (c) de materiais.....	34
Figura 16 - Resistência térmica superficial interna e externa	35
Figura 17 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c).....	37
Figura 18 - Resistência térmica superficial interna e externa	38
Figura 19 - Fator Solar	39
Figura 20 - Coeficientes globais de transmissão de calor U em $\text{kcal/h} \cdot \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ para janelas e paredes.....	39
Figura 21 - Coeficientes de transmissão do calor solar através de vidros (fator solar)	40
Figura 22 - Tabela de Calor Sensível e Latente	41
Figura 23 - Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação.....	43
Figura 24 – Comparação energias renováveis.....	45
Figura 25 – Mapa de irradiação solar no Brasil	46
Figura 26 – Sistema fotovoltaico	48
Figura 27 - Planta Geral	50
Figura 28 - Planta do Prédio Principal.....	53
Figura 29 - Software DuctSizer	69
Figura 30 - Sistema de Dutos.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Carga Térmica – Sala de Espera 1	56
Quadro 2 - Carga Térmica - Sala de Espera 2	57
Quadro 3 - Carga Térmica - Análise Laboratorial 1	58
Quadro 4 – Carga Térmica - Análise Laboratorial 2	59
Quadro 5 - Carga Térmica – Recepção	60
Quadro 6 - Carga Térmica – Sala de Coleta 1	61
Quadro 7 - Carga Térmica – Sala de Coleta 2	62
Quadro 8 - Carga Térmica – Sala de Coleta 3	63
Quadro 9 - Carga Térmica – Sala de Coleta 4	64
Quadro 10 - Carga Térmica – Copa	65
Quadro 11 - Carga Térmica – Almoxarifado.....	67
Quadro 12 - Carga Térmica – Refeitório	68
Quadro 13 - Dimensionamento dos Dutos	70
Quadro 14 - Demanda Energética.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BTU	<i>British Thermal Unit</i> (Unidade Térmica Britânica)
SEER	<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i> (Razão de Eficiência Sazonal de Energia).
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
IEA	Agência Internacional de Energia
EVA	Etileno Acetato de Vinila
SPD	Dispositivos de proteção de sobretensão
DPS	Dispositivos de proteção contra surtos
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária

LISTA DE SÍMBOLOS

U	Energia
W	Trabalho
Q	Calor
Ec	Energia Cinética
m	Massa
Kg	Quilograma
mm	Milímetro
Km²	Quilometro quadrado
KW	Quilowatt
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
KWh	Quilowatt por hora
v	Velocidade
Epg	Energia potencial gravitacional
z	Altura
F	Força
ds	Deslocamento
J	Joule
Cal	Calorias
m/s	Metros por segundo
N	Newtons
CC	Corrente contínua
AC	Corrente alternada
s	Deslocamento
ε	Eficiência
l/s	Litros por segundo
L	Espessura
K	Condutividade Térmica
R_x	Resistência Térmica
U	coeficiente global de transmissão de calor
Q	Carga Térmica
FS	Fator Solar

RS	Radiação Solar
q_s	Calor sensível
q_l	Calor latente
q_{dissipado}	Potência dissipada
FR	Fator do reator
P	Potência das lâmpadas
F_a	Vazão eficaz mínima pela área
F_p	Vazão eficaz mínima para ventilação
ρ_{ar}	Massa específica do ar
C_{p,ar}	Coefficiente devido à pressão do ar

SUMÁRIO

1.0 Introdução	15
1.1 OBJETIVO	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivo Específico	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	15
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO	15
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2.0 Revisão Bibliográfica	17
2.1 TERMODINÂMICA	17
2.1.1 Leis:	18
2.1.1.1 Primeira Lei Da Termodinâmica:	18
2.1.1.2 Segunda Lei Da Termodinâmica:	21
2.1.2 Ciclos	21
2.1.3 Refrigeração	24
2.1.3.1 Histórico	24
2.1.3.2 Conceitos	25
2.2 AR-CONDICIONADO	26
2.2.1 Histórico	26
2.2.2 Componentes	26
2.2.3 Funcionamento	30
2.2.4 Dimensionamento	32
2.2.4.1 Carga Térmica	32
2.2.4.1.1 Carga Térmica Devido À Radiação – Paredes	32
2.2.4.1.2 Carga Térmica Devido À Radiação – Portas	36
2.2.4.1.3 Carga Térmica Devido À Radiação – Janelas	38
2.2.4.1.4 Carga Térmica Devido À Radiação – Total	40
2.2.4.1.5 Carga Térmica Devido Às Pessoas	40
2.2.4.1.6 Carga Térmica Devido Aos Equipamentos	41
2.2.4.1.7 Carga Térmica Devido À Iluminação	41
2.2.4.1.8 Carga Térmica Devido À Ventilação	42
2.2.4.1.9 Carga Térmica Total	43
2.2.4.2 Dimensionamento Dos Dutos	43
2.3 ENERGIAS	44
2.3.1 Energias Alternativas	44
2.3.1.1 Comparação De Energias Alternativas	44
2.3.2 Energia Fotovoltaica	47
2.3.2.1 Funcionamento	47
3.0 Metodologia	49
4.0 Desenvolvimento	50
4.1 ESCOLHA DOS SISTEMAS E DIMENSIONAMENTO	50
4.1.1 Considerações Gerais	50
4.1.2 Prédio Principal	51
4.1.2.1 Cálculo Das Áreas	54
4.1.2.2 Cálculo Da Carga Térmica (Prédio Principal)	56
4.1.2.2.1 Carga Térmica – Sala De Espera 1	56
4.1.2.2.2 Carga Térmica – Sala De Espera 2	57

4.1.2.2.3 Carga Térmica – Análise Laboratorial 1	58
4.1.2.2.4 Carga Térmica – Análise Laboratorial 2	59
4.1.2.2.5 Carga Térmica – Recepção.....	60
4.1.2.2.6 Carga Térmica – Sala De Coleta 1.....	61
4.1.2.2.7 Carga Térmica – Sala De Coleta 2.....	62
4.1.2.2.8 Carga Térmica – Sala De Coleta 3.....	63
4.1.2.2.9 Carga Térmica – Sala De Coleta 4.....	64
4.1.2.2.10 Carga Térmica – Copa.....	65
4.1.2.2.11 Análise Das Cargas Térmicas	65
4.1.3 Edícula	65
4.1.3.1 Cálculo Da Área	66
4.1.3.2 Cálculo Da Carga Térmica (Edícula)	67
4.1.3.2.1 Carga Térmica – Almoxarifado.....	67
4.1.3.2.2 Carga Térmica – Refeitório.....	68
4.3 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO.....	69
4.3.1 Ar-Condicionado Central	69
4.3.1.1 Sistema De Dutos.....	69
4.3.2 Ar-Condicionado Ponto A Ponto.....	70
4.3.2.1 Almoxarifado	70
4.3.2.2 Refeitório	71
4.4 DEMANDA ENÉRGICA.....	71
4.4.1 Energia Convencional	71
4.4.2 Energia Fotovoltaica.....	72
4.4.3 Retorno Financeiro	72
5.0 Resultados E Discussões.....	73
6.0 Conclusão	74
7.0 Referências	75

1.0 INTRODUÇÃO

Hoje em dia os sistemas de condicionamento de ambientes são muito utilizados nas residências, empresas, comércios e em vários outros tipos de estrutura, e juntamente com esse sistema vem todo o gasto de manutenção e com energia elétrica.

Quando se fala em energia, o Brasil é um dos países com maior potencial de energias renováveis que podem ser aproveitadas, principalmente a solar.

Este trabalho de graduação tem como objetivo apresentar um projeto de ar-condicionado alimentado com energia fotovoltaica, comparação de custo entre esse sistema e o convencional, e revisão bibliográfica.

O projeto busca um equipamento de ar-condicionado utilizando-se de uma planta fictícia, voltada ao atendimento médico, para possibilitar o estudo e comparação de gastos envolvendo a energia convencional com a fotovoltaica.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um projeto, em uma planta fictícia voltada ao atendimento médico, de sistema de refrigeração (ar-condicionado).

1.1.2 Objetivo específico

O objetivo específico é a comparação entre os gastos financeiros da utilização de um sistema abastecido por energia convencional e por energia fotovoltaica.

1.2 Delimitação do Estudo

Este trabalho será delimitado na planta fictícia escolhida.

1.3 Relevância do Estudo

O estudo desse trabalho de graduação tem uma grande relevância atualmente pelo fato de que cada vez mais as empresas, fábricas e domicílios estão focados em energias limpas, causas ambientais e busca por redução de gastos.

1.4 Organização do Trabalho

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos:

No primeiro capítulo apresenta-se a Introdução, contendo o objetivo geral, objetivo específico, delimitação do tema, relevância do estudo e organização do trabalho.

No segundo capítulo, denominado de Revisão de Literatura, são contextualizados o conceito de termodinâmica, de refrigeração, de ar-condicionado e seu dimensionamento, e por fim, de energia alternativa.

No terceiro capítulo, tem-se a Metodologia aplicada para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

No quarto capítulo, são realizados os cálculos referenciados na planta fictícia.

E por fim, no quinto capítulo, são abordados os Resultados e as Conclusões, finalizando com as Referências Bibliográficas.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Termodinâmica

Para ser possível a compreensão de sistemas de refrigeração, primeiramente é necessário conhecer a Termodinâmica, seus princípios e leis.

- Termos:

Conforme o autor Van Wylen (1997), os termos principais utilizados na termodinâmica são:

a. Sistemas:

Um sistema é o que se deseja estudar e compreender.

b. Vizinhanças e Fronteiras:

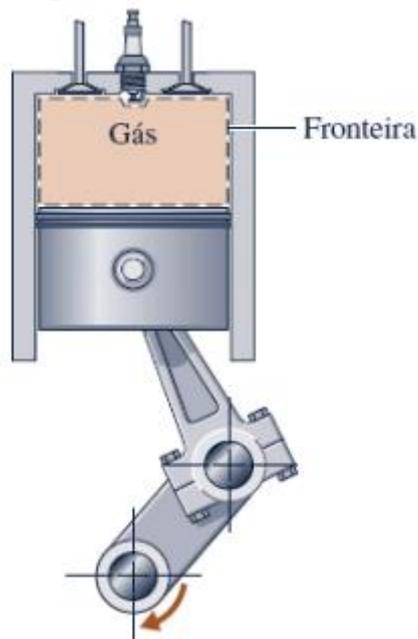
Vizinhança é tudo que está fora do sistema e fronteiras é o que separa a vizinhança do sistema.

c. Sistema fechado e Volume de controle:

Um sistema fechado é aquele em que não ocorre variação de massa. Já o volume de controle ocorre a variação, apresenta um fluxo de massa.

Exemplo de um sistema fechado conforme Figura 1:

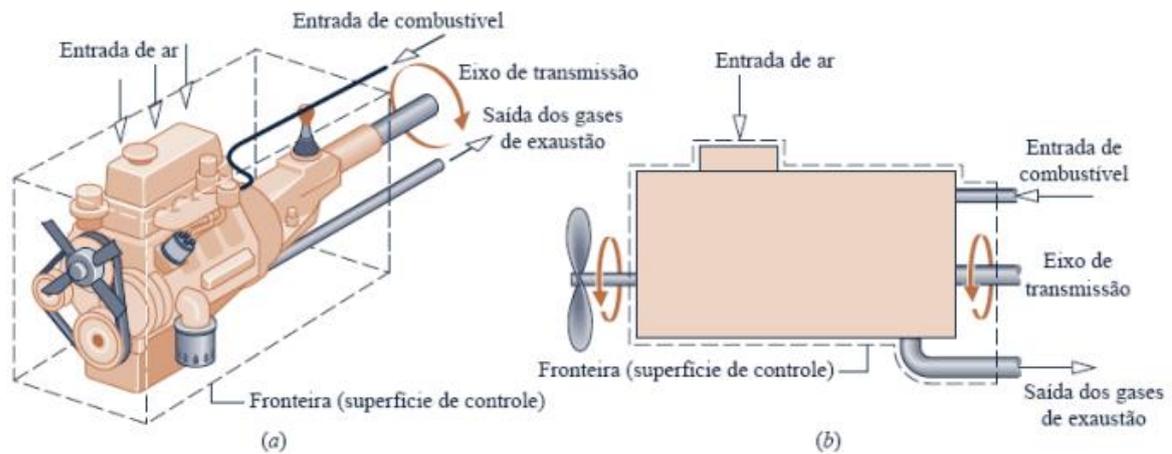
Figura 1 – Sistema Fechado



Fonte: MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D.; BAILEY, Margaret B. Princípios de Termodinâmica para Engenharia. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. p. 38.

Exemplo de um volume de controle conforme Figura 2:

Figura 2 – Volume de Controle



Fonte: MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D.; BAILEY, Margaret B. Princípios de Termodinâmica para Engenharia. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. p. 43.

2.1.1 Leis:

2.1.1.1 Primeira Lei da Termodinâmica:

Segundo o autor Van Wylen (1997), durante uma transformação, o gás pode trocar energia com o meio ambiente sob duas formas: calor e trabalho. Como resultado destas trocas energéticas, a energia interna do gás pode aumentar, diminuir ou permanecer constante.

A primeira lei da termodinâmica é, então, uma Lei da Conservação da Energia, podendo ser enunciada como:

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

Onde:

ΔU = Variação de energia ($U_{\text{final}} - U_{\text{inicial}}$) [J]

W = Trabalho Realizado [J]

Q = Calor do sistema [J ou cal]

Para entendimento de todas essas variáveis segue breve explicação.

a. Energia – Definição:

Na termodinâmica a energia pode ser cinética ou potencial gravitacional e até mesmo ambos.

A energia cinética está relacionada com a velocidade escalar de um corpo, seu cálculo se dá pela seguinte fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (2)$$

Onde:

E_c = Energia Cinética [J]

m = massa [kg]

v = velocidade [m/s]

A energia potencial gravitacional, como o nome já sugere, está relacionada com a aceleração da gravidade / altura que o corpo está do ponto de referência. Ela pode ser calculada com a fórmula abaixo:

$$E_{pg} = m \times g \times (z_2 - z_1) \quad (3)$$

Sendo:

E_{pg} = Energia potencial gravitacional [J]

m = Massa [kg]

z_2 e z_1 = altura no ponto 2 e 1

Em um sistema termodinâmico pode-se ter os dois tipos de energias juntas, ou seja, substituindo os conceitos apresentados (2) e (3) na fórmula (1) tem-se:

$$\Delta U = E_{c2} + E_{pg2} - E_{c1} - E_{pg1} \quad (4)$$

E ainda:

$$\Delta U = \left(\frac{1}{2} \times m_2 \times v_2^2\right) + (m_2 \times g \times \Delta z_2) - \left(\frac{1}{2} \times m_1 \times v_1^2\right) - (m_2 \times g \times \Delta z_1) \quad (5)$$

b. Trabalho – Definição

Definição termodinâmica de trabalho: um sistema realiza trabalho sobre suas vizinhanças se o único efeito sobre tudo aquilo externo ao sistema puder ser o levantamento de um peso. Note-se que o levantamento de um peso é, realmente, uma força que age através de uma distância; assim, o conceito de trabalho em termodinâmica é uma extensão natural do conceito de trabalho em mecânica. No entanto, o teste para se saber se uma interação sob a forma de trabalho ocorreu não está na verificação de que a elevação de um peso realmente ocorreu ou de que uma força verdadeiramente agiu através de uma distância, mas se o único efeito poderia ser considerado como o levantamento de um peso. Portanto o trabalho não pode ser considerado a transferência ou a armazenagem de energia pois ambos os eventos só podem ocorrer quando existe trabalho então o trabalho depende das interações entre sistema e vizinhança durante todo o processo e não pode ser definido como uma

propriedade de um ou de outro observando somente o estado inicial e o resultado de acordo com Van Wylen (1997).

Por convenção, quando o trabalho é realizado pelo sistema o trabalho é considerado positivo e quando realizado sobre o sistema o trabalho é considerado negativo.

$$W = \int S_1 S_2 F. ds \quad (6)$$

Onde:

W = Trabalho [KJ ou J]

F = Força [KN ou N]

ds = Deslocamento [m, cm ou mm]

c. Calor – Definição

Segundo Van Wylen (1997), calor é a transferência de energia térmica de um corpo com temperatura mais alta para um corpo com temperatura mais baixa. Essa transferência é realizada mesmo que nenhum trabalho seja realizado.

Por convenção, quando o sistema em estudo recebe a transferência de calor o sinal de Q é positivo. Mas quando é o sistema que transmite, o sinal é negativo.

Um sistema pode ser adiabático, ou seja, não apresenta transferência de calor.

Q = Calor [KJ, J ou cal]

O calor pode ser sensível ou latente:

Calor sensível é a quantidade de energia térmica que um material absorve ou libera quando sua temperatura é alterada sem que haja mudança de estado físico. Esse tipo de calor é determinado pela variação da temperatura do material e pode ser medido através da capacidade calorífica do material e da diferença de temperatura entre o estado inicial e final.

Calor latente, por sua vez, é a quantidade de energia térmica que um material absorve ou libera quando passa de um estado físico para outro, como sólido para líquido, líquido para gasoso, ou vice-versa, sem que haja variação na temperatura do material. Esse tipo de calor é determinado pela quantidade de energia necessária para que ocorra a mudança de estado físico e é conhecido como calor latente de fusão, calor latente de vaporização, entre outros, dependendo da mudança de estado.

Essas duas formas de transferência de calor são importantes na compreensão dos processos termodinâmicos e no projeto de sistemas de climatização, por exemplo,

onde a transferência de calor sensível e latente pode ser controlada para atingir o conforto térmico desejado.

2.1.1.2 Segunda lei da Termodinâmica:

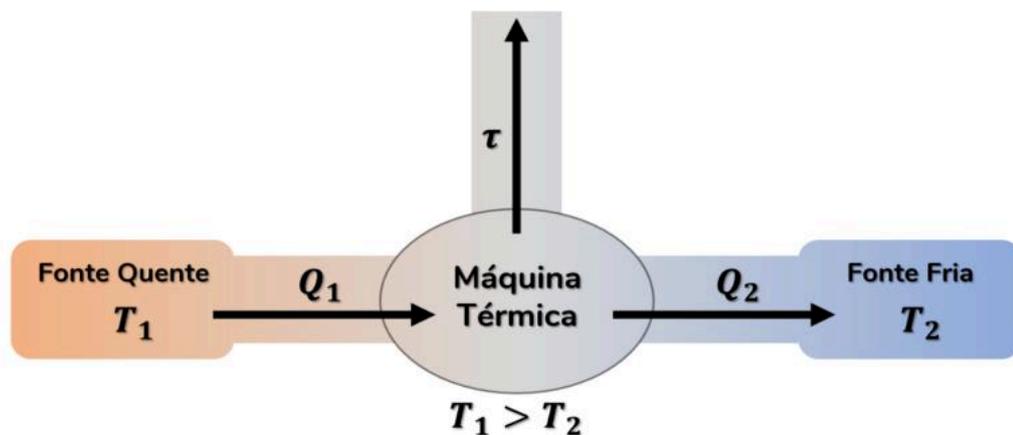
A segunda lei da Termodinâmica (ÇENGEL, 2013) aborda a restrição da primeira lei da Termodinâmica, todo calor não é transformado em trabalho. Assim, a segunda lei foi descrita por Kelvin como: “não há nenhum processo no qual calor é extraído de uma fonte e convertido inteiramente em trabalho útil, sem nenhuma outra consequência para o resto do universo”, e ainda explicita sobre os sistemas cíclicos uma de suas características mais importantes em: “não há nenhuma máquina térmica operando ciclicamente capaz de remover calor de um reservatório e convertê-lo integralmente em trabalho”.

2.1.2 Ciclos

a. Máquinas Térmicas

De acordo com Çengel (2013), as máquinas térmicas são equipamentos que transformam o calor em trabalho, porém como a segunda lei expressa, não é todo calor que se transforma, pois, uma parte dele é rejeitado pelo processo, conforme Figura 3.

Figura 3 – Ciclo Máquina Térmica



Parte do calor recebido é convertido em trabalho e o restante é rejeitado.

Fonte: APROVA TOTAL. Segunda Lei da Termodinâmica: o que é e como funciona. Aprova Total, 15 mar. 2022. Disponível em: <https://aprovatotal.com.br/segunda-lei-da-termodinamica/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Com isso obtém-se a seguinte relação:

$$W = Q_1 - Q_2 \quad (7)$$

Trabalho é o calor recebido menos o calor rejeitado pelo sistema.

b. Rendimento das Máquinas Térmicas

O rendimento, segundo Carnot (1824) é a métrica que diz respeito a eficiência das máquinas térmicas. Um rendimento (n) de 1 representa que todo o calor recebido foi transformado em trabalho, assim como um índice n de 0 representa perda total do calor. A máquina térmica com índice 1 é apenas idealizada, não sendo possível a sua construção no mundo real.

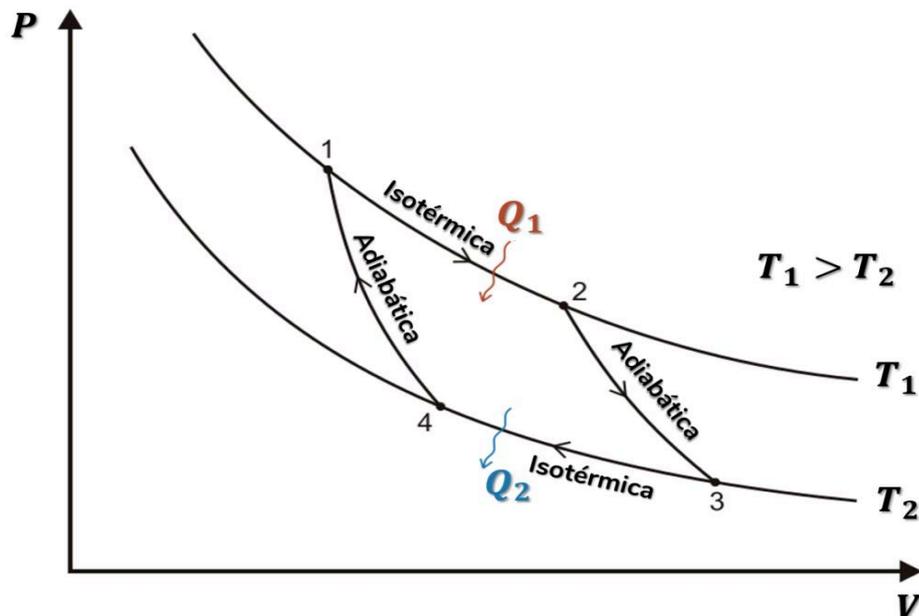
Portanto o rendimento é a razão do trabalho gerado e do calor recebido.

$$n = \frac{W}{Q_1} \rightarrow n = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} \quad (8)$$

c. Ciclo de Carnot

O ciclo proposto por Nicolas Léonard Sadi Carnot (1824) demonstra uma máquina térmica ideal, com isso, para um gás ideal o ciclo é separado em transformações isotérmicas e adiabáticas conforme Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Ciclo de Carnot



Fonte: APROVA TOTAL. Segunda Lei da Termodinâmica: o que é e como funciona. Aprova Total, 15 mar. 2022. Disponível em: <https://aprovatotal.com.br/segunda-lei-da-termodinamica/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

No ciclo de Carnot existe uma proporcionalidade relacionando os calores trocados com as fontes térmicas da seguinte forma:

$$\frac{|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{|T_2|}{|T_1|} \quad (9)$$

Assim, é possível obter o rendimento máximo de uma máquina térmica utilizando:

$$n = 1 - \frac{|T_2|}{|T_1|} \quad (10)$$

Conforme declara o primeiro postulando de Carnot: *“Nenhuma máquina operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior do que uma máquina ideal de Carnot que opera entre essas mesmas temperaturas.”*

d. Refrigeradores e a Segunda Lei da Termodinâmica

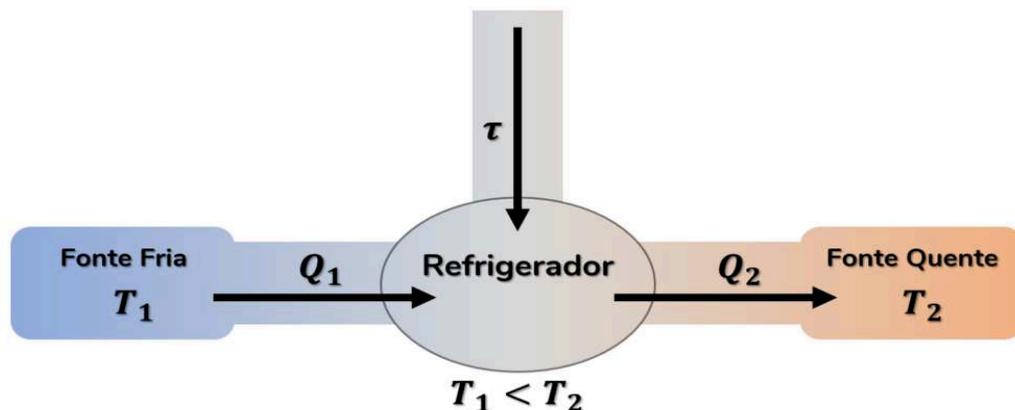
Segundo o enunciado: *“É impossível que uma máquina, sem a ajuda de um agente externo, consiga conduzir calor de um sistema para outro que esteja a uma temperatura maior.”* (CARNOT, 1899. p.290): Ou seja, o calor nunca irá de um corpo mais frio para um corpo mais quente espontaneamente. Os refrigeradores por sua vez, realizam trabalho para forçar a transferência de calor para um ambiente mais quente.

e. Conservação da Energia em Refrigeradores.

Semelhante ao que ocorre nas máquinas térmicas (Figura 5) a conservação de energia nos refrigeradores pode ser obtida da seguinte forma (CARNOT, 1824):

$$|Q_2| = |Q_1| + W \quad (11)$$

Figura 5 – Ciclo de Refrigeração



Fonte: APROVA TOTAL. Segunda Lei da Termodinâmica: o que é e como funciona. Aprova Total, 15 mar. 2022. Disponível em: <https://aprovatotal.com.br/segunda-lei-da-termodinamica/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

f. Eficiência dos Refrigeradores

Ainda segundo Carnot (1824), semelhante ao rendimento das máquinas térmicas, a eficiência (ϵ) pode variar entre 1 e 0 e quanto maior o índice, menor o trabalho que precisa ser realizado para retirar tal quantia de calor da fonte fria .

$$\beta = \frac{|Q_1|}{W} \quad (12)$$

ou

$$\beta = \frac{|Q_1|}{|Q_2|} - |Q_1| \quad (13)$$

2.1.3 Refrigeração

2.1.3.1 Histórico

Na década de 1800, de acordo com Lester (2015), a refrigeração natural era uma parte vibrante da economia. O gelo natural colhido dos rios e lagos do norte dos Estados Unidos, especialmente os de Nova Inglaterra, era muito procurado. O gelo colhido era armazenado em grandes quantidades em casas de gelo e coberto com serragem para isolamento. Mais tarde, os comerciantes carregavam o gelo em navios a vela, novamente, o gelo era coberto com serragem. O gelo então era entregue a lugares distantes como a Índia, onde era bem-vindo, e para a Inglaterra, onde o interesse era baixo. O fornecimento de gelo colhido era irregular, dependendo do clima onde era colhido.

Ainda conforme Lester (2015) durante a década de 1800, muitos sistemas de refrigeração mecânica foram inventados e utilizaram refrigerantes como dióxido de enxofre, cloreto de metila, éter, dióxido de carbono, além de vinho, vinagre etc. Os primeiros sistemas de refrigeração projetados entre 1850 e 1920 produziam gelo o ano todo para competir com o gelo colhido. Os produtores de gelo colhido anunciavam que, quando disponível, sua refrigeração natural não falhava como os primeiros sistemas mecânicos.

Lester (2015) também traz que vários métodos existiam para a fabricação de gelo nos primeiros dias. Um método muito trabalhoso usava uma série de placas imersas em água com um refrigerante de amônia ou salmoura circulante. O gelo se formava em ambos os lados das placas e era colhido com salmoura quente ou gás

quente e cortado em tamanho para venda. O outro método, ainda usado hoje, era o sistema de gelo em latas. A reclamação na época era que ele exigia água destilada para evitar bolhas de ar no gelo. Esse método de fabricação de gelo prevaleceu porque era simples e menos trabalhoso que o método de placas.

2.1.3.2 Conceitos

Segundo Queiroz (2021), a refrigeração, em sua essência, pode ser descrita como a retirada de calor de um corpo, porém ainda existe a distinção entre arrefecimento (ato de abaixar a temperatura até a temperatura ambiente), resfriamento (ato de abaixar a temperatura até a temperatura de congelamento do corpo observado) e congelamento (ato de abaixar a temperatura abaixo da temperatura de congelamento). Seguindo essas considerações, usualmente o termo refrigeração é utilizado para processos que exigem um gasto de energia para resfriar os corpos, ou seja, os processos de resfriamento e congelamento.

A refrigeração pode se dar por:

- Refrigeração mecânica por meio de gases
- Refrigeração mecânica por meio de vapores
- Refrigeração por Absorção
- Refrigeração por Adsorção
- Refrigeração Termoelétrica

Além da geração do frio, ainda é de suma importância os métodos de conservação do frio. Essa conservação é atingida ao buscar um fluxo de calor reduzido com criação de resistências térmicas elevadas. Conforme listado por Cruz da Costa (1982. p. 20)

“De acordo com o recurso que dispõe esses ambientes isolados para manutenção do frio podem ser classificados em: Isotérmicos, quando simplesmente isolados; refrigerados, quando utilizam gelo comum (0 °C), soluções eutéticas (-55 °C), gelo seco (-78,9 °C); frigoríficos, quando dispõe de produção contínua de frio.”

As aplicações do frio são inúmeras e podem ser citadas com exemplos: indústrias químicas, condicionamento de ar em residências, medicina, indústria de alimentos etc.

2.2 Ar-condicionado

2.2.1 Histórico

Conforme artigo por Emily Badger (2017), uma outra vertente da refrigeração, que também se originou no século XIX, foram as primeiras tecnologias de refrigeração baseadas na compressão de vapor, como o frigorífico de vapor de Jacob Perkins em 1834. A partir daí, a tecnologia evoluiu significativamente, permitindo o surgimento do ar-condicionado em 1902, graças ao trabalho de Willis Carrier. Esse dispositivo foi originalmente projetado para controlar a umidade em uma fábrica de impressão, mas logo se tornou popular para uso em ambientes residenciais e comerciais.

Durante as décadas seguintes o ar-condicionado foi aprimorado e popularizado em todo o mundo, com o desenvolvimento de unidades mais eficientes, compactas e com menor custo. Nos anos 1950, os sistemas de ar-condicionado central foram introduzidos em edifícios comerciais e, posteriormente, em residências (Badger 2017).

Conforme Badger (2017), nos anos 1970, a crise do petróleo estimulou o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis, como o uso de gases refrigerantes menos prejudiciais ao meio ambiente. Em 2000 começou a ser comercializado o ar-condicionado split, que separa o ar-condicionado em dois, uma parte externa e uma interna.

Atualmente, a tecnologia de refrigeração continua evoluindo, com o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e inteligentes, como os sistemas de ar-condicionado com controle remoto e dispositivos de automação residencial.

2.2.2 Componentes

O ar-condicionado é composto por quatro componentes: evaporador, condensador, compressor e válvula de expansão.

a. Compressor:

A função do compressor é simplesmente comprimir o gás refrigerante. Ele pode ser de diversos tamanhos, conforme o modelo utilizado e a maioria se localiza na unidade externa. O maior consumo de energia em um ar-condicionado provém do compressor (Figura 6) (CRUZ DA COSTA, 1982).

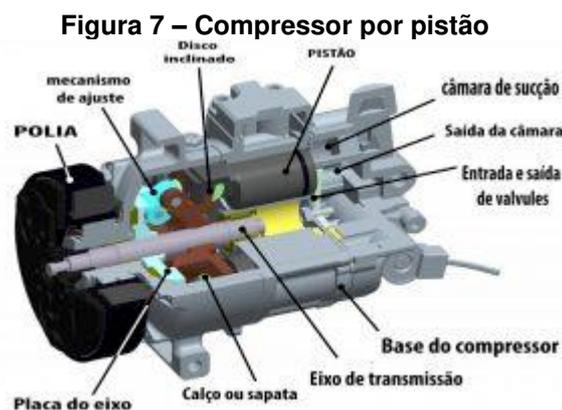
Figura 6 - Compressor



Fonte: Tipos de compressores utilizados em ar-condicionado. WebArCondicionado, [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/tipos-de-compressores-utilizados-em-ar-condicionado>. Acesso em: 24 abr. 2023.

O compressor pode ser basicamente de dois tipos, por pistão ou por centrifugação.

No compressor por pistão (Figura 7), como o nome já diz, um pistão faz o bombeamento do fluido de fora para dentro do tanque de armazenamento, utilizando de vácuo que se formou durante o intervalo de movimentos para sugar e empurrar o fluido. Pode haver compressor com um pistão, conhecido como um estágio e com dois pistões conhecido como dois estágios (CRUZ DA COSTA, 1982).



Fonte: WEB AR CONDICIONADO. Compressor do ar condicionado: o que é e como funciona. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/compressor-do-ar-condicionado-o-que-e-e-como-funciona>. Acesso em: 24 abr. 2023.

No compressor por centrifugação (Figura 8), existem dois parafusos que giram um contra o outro, fazendo o fluido se movimentar de um lado para o outro. Por causa

do posicionamento dos parafusos de forma opostas, eles conseguem sugar o fluido num extremo e empurrar para o tanque de armazenamento no outro.

Figura 8 – Compressor por centrifugação



Fonte: WEB AR CONDICIONADO. Compressor do ar condicionado: o que é e como funciona. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/compressor-do-ar-condicionado-o-que-e-e-como-funciona>. Acesso em: 24 abr. 2023.

b. Condensador:

O condensador, retira o calor latente do gás refrigerante e o transporta para o ambiente externo, tendo a função de transformar o refrigerante de vapor para líquido (CRUZ DA COSTA, 1982).

O condensador (Figura 9) possui uma serpentina de troca de calor, ventilador e carcaça.

Ele fica localizado na parte externa do ambiente condicionado.

Figura 9 - Condensador



Fonte: TECNOBLOG. Como funciona o ar-condicionado: conheça as partes do equipamento. 2021. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/como-funciona-o-ar-condicionado-conheca-as-partes-do-equipamento/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

c. Válvula de Expansão:

A válvula de expansão (Figura 10) é um componente crítico em sistemas de ar-condicionado residencial e comercial. Sua função é controlar o fluxo de refrigerante para o evaporador, permitindo a evaporação e a absorção de calor do ambiente. Uma válvula de expansão adequada pode melhorar significativamente a eficiência energética do sistema de ar-condicionado, reduzindo o consumo de energia e prolongando a vida útil do equipamento (MARTINS, 2018).

Estudos feitos por Lohse (2017) e Raghavan (2019) mostram que a seleção adequada da válvula de expansão pode melhorar a eficiência do sistema em até 10%, aumentar a capacidade de refrigeração em até 30%, reduzir o tempo de operação do compressor em até 50%, e prolongar a vida útil do compressor em até 50%. Da mesma forma, em pesquisa feita por Almeida et al. (2020), foi investigada a relação entre a seleção inadequada da válvula de expansão e o consumo de energia em sistemas de ar-condicionado residencial. Os resultados mostraram que a seleção inadequada da válvula de expansão pode aumentar o consumo de energia em até 20%.

Figura 10 – Válvula de Expansão



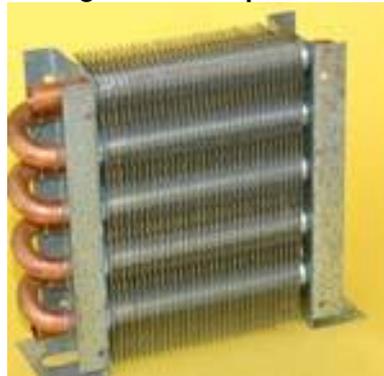
Fonte: DANFOSS. TR 6 Thermostatic Expansion Valves. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/products/dcs/valves/thermostatic-expansion-valves/thermostatic-expansion-valves/tr-6-thermostatic-expansion-valves/#tab-overview>. Acesso em: 24 abr. 2023.

d. Evaporador:

Segundo Loureiro (2018), sua função é absorver o calor do ambiente e transferi-lo para o refrigerante, que é então transportado para o condensador para dissipar o calor para o ambiente externo. Um evaporador (Figura 11) adequado pode melhorar significativamente a eficiência energética do sistema de ar-condicionado, reduzindo o consumo de energia e prolongando a vida útil do equipamento.

Estudos realizados por Loureiro (2018) e Queiroz (2021) mostram que a seleção adequada do evaporador pode melhorar a eficiência do sistema em até 15%, reduzir o tempo de operação do compressor em até 50%, e prolongar a vida útil do compressor em até 50%. Além disso, um estudo brasileiro por Caldas et al., 2016, destacou a importância da limpeza regular do evaporador para garantir um desempenho ideal do sistema de ar-condicionado e reduzir o risco de problemas de saúde causados por bactérias e fungos.

Figura 11 - Evaporador



Fonte: REFRIGERAÇÃO, Portal Da. Evaporador. Disponível em: https://refrigeracao.net/topicos/evaporador_1. Acesso em: 24 abr. 2023.

2.2.3 Funcionamento

Conforme explicado por Cruz da Costa (1982), O fluido refrigerante entra no compressor, na condição de vapor superaquecido, e sofre uma compressão (sucção) no qual ele passa de uma pressão baixa (de evaporação) inicial para uma pressão (de condensação) e temperatura altas. Assim ele escoar para o condensador.

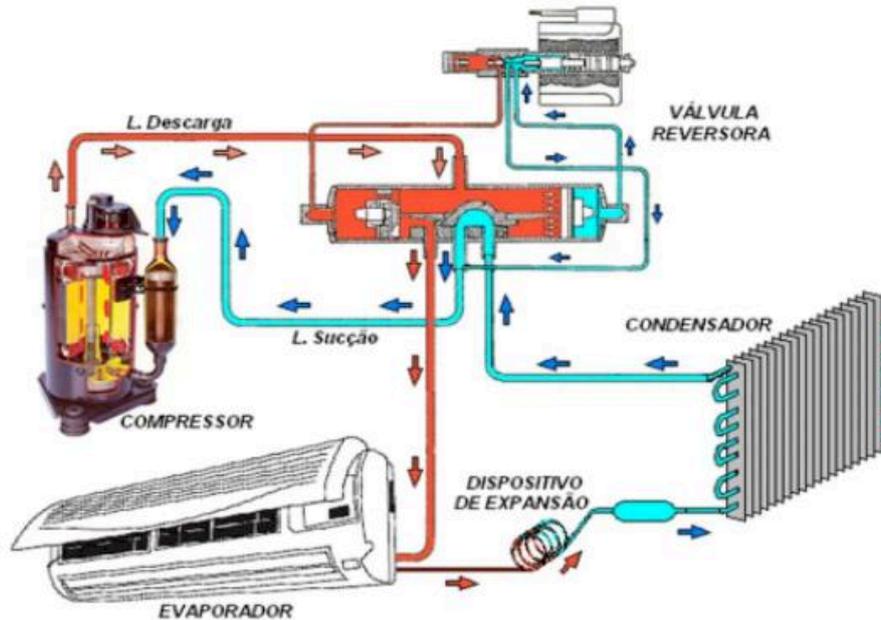
O condensador está com uma pressão e temperatura mais altas que do ambiente no qual está localizado. Assim ele rejeita o calor do fluido refrigerante para o ambiente, no qual está passa de vapor superaquecido para a condição de líquido sub-resfriado.

Após esse processo o líquido sub-resfriado é expandido na válvula de expansão tendo a sua pressão diminuída (no estado de evaporação), assim parte do fluido refrigerante passa de líquido para o estado de vapor, se tornando bifásico.

O evaporador entra em ação como o ar do ambiente que está em uma temperatura alta passa pelas serpentinas, cede calor para o fluido refrigerante que está em temperatura mais baixa, assim o ambiente torna-se refrigerado. Com todo o fluido em estado de vapor ele volta para o compressor, recomeçando todo o ciclo.

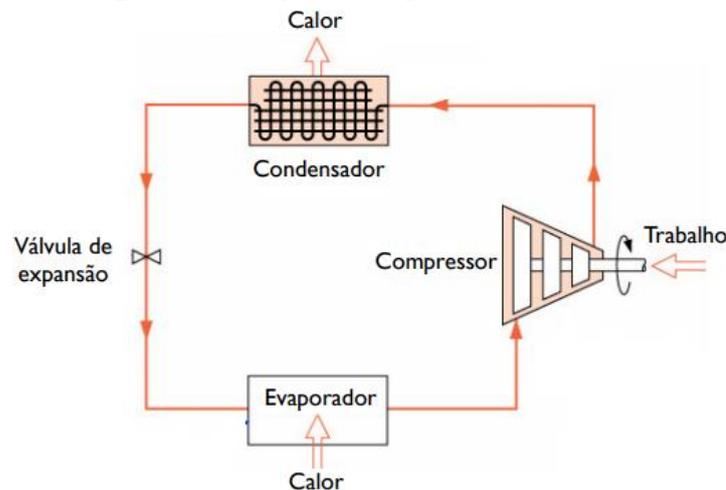
Conforme as Figuras 12 e 13 a seguir, pode-se ver, com detalhes, o funcionamento do ar-condicionado:

Figura 12 – Funcionamento ar-condicionado



Fonte: FRIOCLIMATIZADO. Circuito de refrigeração e aquecimento. Blog FRIOCLIMATIZADO, 23 abril 2019. Disponível em: <http://frioclimatizado.blogspot.com/2019/04/circuito-de-refrigeracao-e-aquecimento.html>. Acesso em: 24 abril 2023.

Figura 13 – Esquemática ar-condicionado



Fonte: CUBI Energia. Eficiência energética no ar-condicionado. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/eficiencia-ar-condicionado/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

A unidade de medida de potência de ar-condicionado é a BTU (*British Thermal Unit*), que é uma unidade de energia térmica que representa a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de uma libra de água em um grau Fahrenheit (CREDER, 2004). No contexto do ar-condicionado, a BTU é usada para medir a

quantidade de calor que o equipamento pode remover de um espaço em um período específico.

A capacidade de resfriamento do ar-condicionado é medida em BTU por hora (BTU/h) e varia de acordo com o tamanho do equipamento e as condições ambientais do espaço a ser resfriado. Quanto maior a capacidade em BTU/h, maior será a quantidade de calor que o ar-condicionado pode remover do ambiente em um período específico, o que significa que o equipamento poderá resfriar um espaço maior ou mais rapidamente.

Para determinar a capacidade de resfriamento necessária para um determinado espaço, é preciso levar em consideração diversos fatores, como o tamanho da área, a altura do teto, a exposição solar, a quantidade de janelas, a presença de equipamentos eletrônicos, entre outros. Além disso, é importante considerar a eficiência energética do equipamento, que pode ser medida pelo SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*), outra unidade de medida utilizada no setor de ar-condicionado.

2.2.4 Dimensionamento

2.2.4.1 Carga Térmica

A carga térmica é o nome dado para a quantidade de calor latente e sensível que deve ser retirado por meio do resfriamento do ambiente, para obter a temperatura e as condições ambientais adequadas ao processo (CREDER, 2004).

Para se obter a carga térmica total do ambiente a ser refrigerado é necessário considerar as diferentes trocas de calor do local.

2.2.4.1.1 Carga Térmica Devido à Radiação – Paredes

Considerando a carga térmica gerada pelas paredes é necessário considerar a transferência pela radiação, que segundo Stoecker (1985), é resultado do deslocamento de fótons de uma superfície para a outra. Ao atingir uma superfície, esses fótons podem ser absorvidos, refletidos ou transmitidos.

Para realizar o cálculo dessa carga é necessário seguir o memorial de cálculo abaixo (CREDER, 2004):

A) Resistência térmica da seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$R_a = \frac{L_{reboco}}{K_{reboco}} + \frac{L_{argamassa}}{K_{argamassa}} + \frac{L_{reboco}}{K_{reboco}} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (14)$$

Onde:

L_{reboco} = Espessura do reboco [m]

K_{reboco} = Condutividade térmica do reboco [W/(m*K)]

$L_{argamassa}$ = Espessura da argamassa [m]

$K_{argamassa}$ = Condutividade térmica da argamassa [W/(m*K)]

Obtendo-se a condutividade conforme Figura 14 térmica pela norma

Figura 14 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	C (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00

FONTE: ABNT. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005

B) Resistência térmica da seção B (reboco + parede + reboco):

$$R_b = \frac{L_{reboco}}{K_{reboco}} + \frac{L_{parede}}{K_{parede}} + \frac{L_{reboco}}{K_{reboco}} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (15)$$

Onde:

L_{reboco} = Espessura do reboco [m]

K_{reboco} = Condutividade térmica do reboco [W/(m*K)]

L_{parede} = Espessura da parede [m]

K_{parede} = Condutividade térmica da parede [W/(m*K)]

Obtendo-se a condutividade térmica conforme Figura 15:

Figura 15 - Calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	C (kJ/(kg.K))
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92

FONTE: ABNT. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005

C) Resistência térmica da parede:

$$R_p = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (16)$$

Onde:

A_a = Área da seção A [m²]

A_b = Área da seção B [m²]

R_a = Resistência térmica da seção A [m²K/W]

R_b = Resistência térmica da seção B [m²K/W]

D) Resistência térmica total:

$$R_T = R_e + R_p + R_i \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (17)$$

Onde:

R_e = Resistência térmica superficial externa [m²K/W]

R_i = Resistência térmica superficial interna [m²K/W]

R_p = Resistência térmica da parede [m²K/W]

Obtendo-se as resistências superficiais conforme Figura 16:

Figura 16 - Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} (m ² .K)/W			R_{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

FONTE: ABNT. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005

E) Coeficiente global de transmissão de calor:

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (18)$$

Onde:

R_t = Resistência térmica total [m²K/W]

F) A carga térmica devido à radiação:

$$Q_{externo} = U * A * (T_e - T_i) + \Delta T [W] \quad (19)$$

Onde:

U = Coeficiente global de transmissão de calor [m²K/W]

A = Área efetiva de cada parede [m²]*

T_e = Temperatura externa [°C]

T_i = Temperatura interna desejada [°C]

ΔT = Acréscimo de diferencial de temperatura [°C]

*Retirar do cálculo da área da parede as áreas de janelas e portas que estão nesta parede.

G) Resistência do reboco:

$$R_r = \frac{L}{K * A} \left[\frac{K}{W} \right] \quad (20)$$

Onde:

L = espessura do reboco [m]

K = Condutividade térmica do reboco [W/(m*K)]

A = Área efetiva de cada parede [m²]*

*Retirar do cálculo da área da parede a área de janelas e portas que estão nesta parede.

H) Resistência da parede:

$$R_p = \frac{L}{K * A} \left[\frac{K}{W} \right] \quad (21)$$

Onde:

L = espessura da parede [m]

K = Condutividade térmica da parede [W/(m*K)]

A = Área efetiva de cada parede [m²]*

*Retirar do cálculo da área da parede as áreas de janelas e portas que estão nesta parede.

I) Resistência total da parede:

$$R_t = R_r + R_p \left[\frac{K}{W} \right] \quad (22)$$

J) Carga térmica devido à radiação da parede:

$$Q_{parede} = \frac{\Delta T}{R_T} [W] \quad (23)$$

Onde:

ΔT = Diferença entre a temperatura externa e interna do ambiente [K]

2.2.4.1.2 Carga Térmica Devido à Radiação – Portas

Para o cálculo da carga térmica nas portas, seguir o memorial de cálculo abaixo:

a) Resistência térmica da porta:

$$R_{porta} = \frac{L_{porta}}{K_{porta}} \left[\frac{K}{W} \right] \quad (24)$$

Onde:

L_{porta} = Espessura da porta [m]

K_{porta} = Condutividade térmica da porta [W/(m*K)]

Obtendo-se a condutividade térmica conforme Figura 17:

Figura 17 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c)

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30

FONTE: ABNT. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005

b) Resistência térmica total da porta:

$$R_T = R_e + R_{porta} + R_i \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (25)$$

Onde:

R_e = Resistência térmica superficial externa [m²K/W]

R_i = Resistência térmica superficial interna [m²K/W]

R_{porta} = Resistência térmica da porta [m²K/W]

Obtendo-se as resistências superficiais conforme Figura 18:

Figura 18 - Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} ($m^2.K/W$)			R_{se} ($m^2.K/W$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

FONTE: ABNT. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005

c) Coeficiente global de transmissão de calor:

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{m^2K}{W} \right] \quad (18)$$

Onde:

R_t = Resistência térmica total [m^2K/W]

d) A carga térmica devido à radiação da porta:

$$Q_{porta} = U * A * (T_e - T_i) + \Delta T [W] \quad (26)$$

Onde:

U = Coeficiente global de transmissão de calor [m^2K/W]

A = Área efetiva de cada parede [m^2]*

T_e = Temperatura externa [$^{\circ}C$]

T_i = Temperatura interna desejada [$^{\circ}C$]

ΔT = Acréscimo de diferencial de temperatura [$^{\circ}C$]

2.2.4.1.3 Carga Térmica Devido à Radiação – Janelas

Para o cálculo da carga térmica nas janelas, seguir o memorial de cálculo abaixo:

A) Carga térmica devido ao vidro transparente

$$Q_{janela} = A * [\Delta T * U_{vidro} + FS * RS] [W] \quad (27)$$

Onde:

A = Área da Janela [m^2]

FS = Fator Solar

U = Coeficiente de Transmissão de Calor [$\text{m}^2\text{K/W}$]

RS = Radiação Solar

Obtendo-se o fator solar na Figura 19 abaixo:

Figura 19 - Fator Solar

Superfícies Separadoras		F_s	Referência
Vidros	Transparente (simples) 3 mm	0,87	ASHRAE (1993)
	6 mm	0,83	ASHRAE (1993)
	Transparente (duplo) 3 mm	0,75	Pereira e Sharples (1991)
	Cinza (fumê) 3 mm	0,72	ASHRAE (1993)
	6 mm	0,60	ASHRAE (1993)
	Verde 3 mm	0,72	Windows and Daylighting Group (1992)
	6 mm	0,60	Windows and Daylighting Group (1992)
	Reflexivo 3 mm	0,26 – 0,37	Windows and Daylighting Group (1992) e Aroztegui (1983)
Películas	Reflexiva	0,25 – 0,50	ASHRAE (1993)
	Absorvente	0,40 – 0,50	Aroztegui (1983)

FONTE: LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª ed. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014

Obtendo-se o Coeficiente de Transmissão de Calor e a Radiação Solar conforme Figuras 20 e 21 abaixo:

Figura 20 - Coeficientes globais de transmissão de calor U em $\text{kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ para janelas e paredes

Elementos	U em $\text{kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$
a) Janelas	
- Janelas de vidros comuns (simples)	5,18
- Janelas de vidros duplos	3,13
- Janelas de vidros triplos	1,66
b) Paredes externas	
- Tijolos maciços ($20 \times 10 \times 6$ cm):	
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,88
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,95
- Tijolos furados ($20 \times 20 \times 10$ ou $30 \times 30 \times 10$ cm):	
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,59
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,90
c) Paredes internas	

FONTE: CREDER, Hélio. Instalações de Ar Condicionado. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

Figura 21 - Coeficientes de transmissão do calor solar através de vidros (fator solar)

22° 54' Latitude Sul		kcal/h · m ² (Fator Solar) de Áreas de Vidro												Valores Máximos em Cada Orientação entre Setembro e Março		
Verão		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	kcal/h · m ²	W/m ²
Hora Local																
Dia do Ano	Face do Prédio															
22 DEZEMBRO	S	87	98	68	54	49	43	41	43	49	54	65	98	87	98	113,5
	SE	260	421	388	290	190	73	41	38	38	38	38	27	11	420	488,8
	E	263	440	475	426	277	122	38	38	38	38	38	27	11	474	551,8
	NE	95	193	222	214	157	84	43	38	38	38	38	27	11	222	358,6
	N	11	27	33	38	41	49	49	49	41	38	38	27	11	49	56,7
	NO	11	27	33	38	38	38	43	84	157	214	217	193	95	217	352,2
	O	11	27	33	38	38	38	38	122	277	426	434	440	263	440	510,8
	SO	11	27	33	38	38	38	41	73	190	290	364	421	260	420	488,8
	CLARABÓIA	41	176	361	515	629	684	738	412	629	515	429	176	41	740	857,8
21 JANEIRO 21 NOVEMBRO	S	60	65	49	41	41	38	38	38	41	41	43	65	60	65	75,6
	SE	228	383	372	279	160	65	38	38	38	35	35	24	11	384	444,6
	E	244	442	480	431	296	130	38	38	38	35	35	24	11	480	558,2
	NE	100	214	260	250	193	109	49	38	38	35	35	24	11	245	302,7
	N	11	24	33	38	46	54	57	54	46	38	35	24	11	57	66,2
	NO	11	24	33	35	38	38	38	109	193	250	247	214	100	250	290,1
	O	11	24	33	35	38	38	38	130	296	431	440	442	244	443	514,0
	SO	11	24	33	35	38	38	38	65	160	279	334	383	228	384	444,6
	CLARABÓIA	30	171	347	515	624	692	733	692	624	515	407	171	30	734	851,4
20 FEVEREIRO 23 OUTUBRO	S	16	24	30	35	38	38	38	38	38	35	35	24	16	38	44,1
	SE	141	342	307	214	103	43	38	38	38	35	35	22	5	342	397,3
	E	168	415	488	440	285	138	38	38	38	35	35	22	5	489	567,6
	NE	92	269	342	334	304	187	79	41	38	35	35	22	5	343	397,3
	N	5	22	33	52	84	106	114	106	84	52	38	22	5	114	132,4
	NO	5	22	30	35	38	41	79	187	304	334	331	269	92	334	387,9
	O	5	22	30	35	38	38	38	152	285	440	448	415	168	448	520,3
	SO	5	22	30	35	38	38	38	43	103	214	269	342	168	342	397,3
	CLARABÓIA	16	138	320	472	597	662	692	662	597	472	372	138	16	691	804,1

FONTE: CREDER, Hélio. Instalações de Ar Condicionado. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

2.2.4.1.4 Carga Térmica Devido à Radiação – Total

Para encontrar a carga térmica devido à radiação total, aplicar a fórmula abaixo:

A) Carga térmica total

$$Q_{radtotal} = Q_{externo} + Q_{parede} + Q_{porta} + Q_{janela} [W] \quad (28)$$

2.2.4.1.5 Carga Térmica Devido às Pessoas

Para encontrar a carga térmica devido às pessoas é necessário seguir os passos abaixo:

A) Carga térmica devido às pessoas

$$Q_{pessoas} = N^{\circ}_{pessoas} * (q_s + q_l) [W] \quad (29)$$

Onde:

$N^{\circ}_{pessoas}$ = Número de pessoas no recinto*

q_s = Calor sensível [W]

q_l = Calor latente [W]

*Se houver pessoas rotativas e fixas, considerar no valor as pessoas fixas mais 50% das pessoas rotativas.

Obtendo-se o calor sensível e latente pela Figura 22:

Figura 22 – Tabela de Calor Sensível e Latente

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche ^c	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

NOTA 1 - Valores baseados em temperatura de bulbo seco ambiente de 24 °C. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 27 °C.

FONTE: ABNT. NBR 16401-1:2008. Sistemas de refrigeração e condicionamento de ar - Sistemas centrais de ar condicionado e ventilação - Parte 1: Projeto das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

2.2.4.1.6 Carga Térmica Devido aos Equipamentos

Para encontrar a carga térmica devido aos equipamentos é necessário seguir o passo abaixo:

A) Carga térmica devido aos equipamentos.

$$Q_{equipamentos} = N^{\circ}_{equipamentos} * q_{dissipado} [W] \quad (30)$$

Onde:

$N^{\circ}_{equipamentos}$ = Número de equipamentos

$q_{dissipado}$ = Potência dissipada [W]

2.2.4.1.7 Carga Térmica Devido à Iluminação

Para encontrar a carga térmica devido à iluminação é necessário seguir o passo abaixo:

A) Carga térmica devido à iluminação.

$$Q_{iluminação} = N^{\circ} \text{lâmpadas} * P_{\text{lâmpada}} + FR \text{ [W]} \quad (31)$$

Onde:

$N^{\circ} \text{lâmpada}$ = Número de lâmpadas

$P_{\text{lâmpadas}}$ = Potência das lâmpadas [W]

FR = Fator do reator*

*Em lâmpadas de LED o FR é igual a zero.

2.2.4.1.8 Carga Térmica Devido à Ventilação

Para encontrar a carga térmica devido à ventilação é necessário seguir os passos abaixo:

A) Cálculo da vazão.

$$q = \frac{F_p * N_{\text{pessoas}} + F_a * A}{1000} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (32)$$

Onde:

F_p = Vazão eficaz mínima para ventilação $\left[\frac{L}{s * \text{pessoa}} \right]$

F_a = Vazão eficaz mínima pela área $\left[\frac{L}{s * m^2} \right]$

N_{pessoas} = Número de pessoas

A = Área do local [m²]

B) Transformando a unidade.

$$q' = q \left[\frac{m^3}{s} \right] * 3600 = \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (33)$$

C) Carga térmica devido à ventilação.

$$Q = \rho_{ar} * C_{p,ar} * q' * (T_e - T_i) \quad (34)$$

Onde:

ρ_{ar} = Massa específica do ar $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

$C_{p,ar}$ = Coeficiente devido à pressão do ar

T_e = Temperatura externa [K]

T_i = Temperatura interna [K]

Obtendo-se o F_p e o F_a na tabela conforme Figura 23:

Figura 23 - Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ^{2 a}
		F_p L/s* pess.	F_a L/s* m ²	F_p L/s* pess.	F_a L/s* m ²	F_p L/s* pess.	F_a L/s* m ²	
Comércio varejista								
Supermercado de alto padrão	8	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado de padrão médio	10	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado popular	12	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Mall de centros comerciais	40	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Lojas (exceto abaixo)	15	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--
Salão de beleza e/ou barbearia ^b	25	10	0,6	12,5	0,8	15,0	0,9	--
Animais de estimação ^b	10	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	4,5
Lavanderia "self-service"	20	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Edifícios de escritórios								
Hall do edifício, recepção	10	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritórios de diretoria	6	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com baixa densidade	11	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com média densidade	14	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com alta densidade	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala de reunião	50	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--

FONTE: ABNT. NBR 16401-3: Sistemas de refrigeração e condicionamento de ar - Parte 3: Normas e diretrizes para a atividade de manutenção. Rio de Janeiro, 2008.

2.2.4.1.9 Carga Térmica Total

Para encontrar a carga térmica total é necessário seguir o passo abaixo:

$$Q_{total} = Q_{radtotal} + Q_{pessoas} + Q_{equipamentos} + Q_{iluminação} [W] \quad (35)$$

2.2.4.2 Dimensionamento dos Dutos

Segundo Stoecker (1985), os dutos podem ser dimensionados de três maneiras diferentes:

A) Método de Velocidade

É especificado previamente as velocidades do ar nos dutos e nas ramificações, assim a perda de carga pode ser determinada. Com isso usa-se ventiladores para satisfazer as exigências de perda de carga máxima no sistema.

B) Método de Iguais Perdas de Carga

Consiste em estipular/escolher a perda de carga total e dimensionar os dutos de forma que dissipe essa perda de carga, por meio de ajustar o comprimento e as dimensões do duto, dividido em trechos. Porém deve-se tomar a precaução de manter as velocidades dentro das faixas apropriadas.

C) Método da Recuperação Estática

Método mais complexo que os outros dois, sendo utilizado somente em casos especiais.

2.3 Energias

2.3.1 Energias Alternativas

A energia renovável, ou energia alternativa, é gerada a partir de recursos naturais, como sol, vento, água e biomassa. Em comparação com as fontes de energia tradicionais, como o petróleo e o carvão, a energia renovável é considerada uma opção mais sustentável, já que não emite gases de efeito estufa e não contribui para a mudança climática.

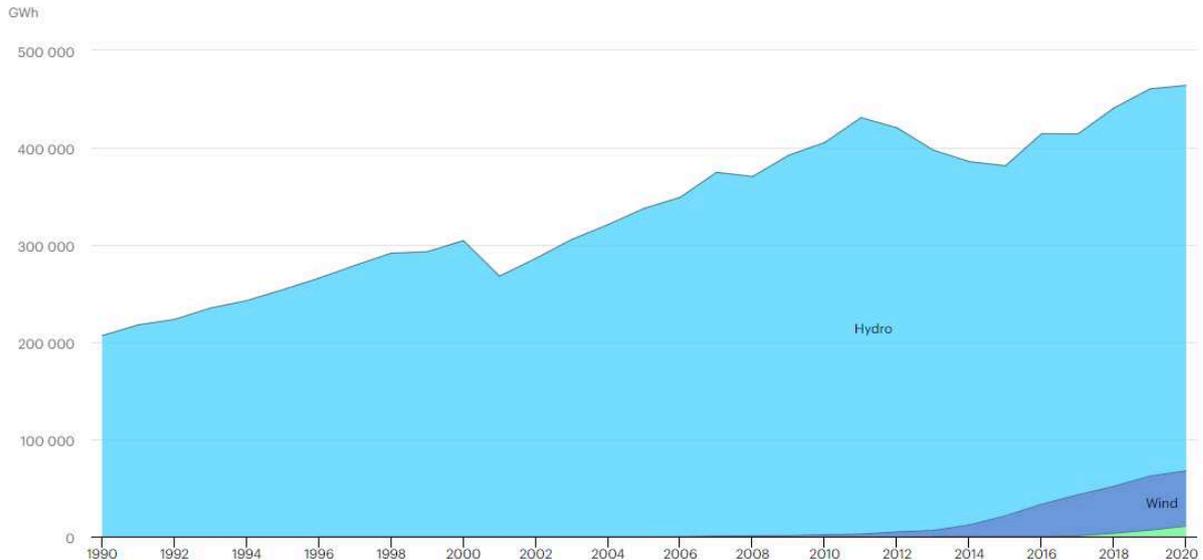
De acordo com a Agência Internacional de Energia (2020), a energia renovável representou cerca de 72% do crescimento global da capacidade de geração de eletricidade em 2020, com a energia solar e eólica liderando o caminho. Além disso, a geração de energia renovável em todo o mundo está em constante crescimento, com previsão de dobrar até 2050.

No Brasil, a energia renovável também tem sido uma importante fonte de eletricidade, especialmente com o aumento do uso de energia eólica e solar. De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia, a capacidade instalada de energia eólica e solar no Brasil cresceu mais de 200% nos últimos cinco anos. Além disso, a produção de biocombustíveis também é uma importante fonte de energia renovável no país.

2.3.1.1 Comparação de Energias Alternativas

No Brasil, segundo o site IEA (2023), que permite realizar a busca de consumo de energias renováveis no país, mostra que a maior parte utilizada ainda é a hídrica/hidrelétrica (em 2020 com consumo de 396.327GWh), em segundo lugar a eólica (em 2020 com consumo de 57.051GWh) e em terceiro lugar a solar (em 2020 com consumo de 10.750GWh).

Figura 24 – Comparação energias renováveis



Fonte: IEA. Energy Statistics Data Browser. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. Acesso em: 24 abr. 2023

De acordo com matéria de WA SOLAR (2020), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estima que no ano de 2030 o Brasil irá investir mais de 100 bilhões de reais em energia solar, ou seja, 25% das matrizes de energia de todo o país.

O Brasil é um dos países com maiores índices mundiais de irradiação solar. E ainda a captação da radiação solar pelos painéis é um sistema simples e eficiente.

Conforme é possível verificar na Figura 25 abaixo, obtida pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (LABREN, 2017), o índice da irradiação solar pelas regiões brasileiras varia.

Figura 25 – Mapa de irradiação solar no Brasil



Fonte: LABREN - INPE. Distribuição da irradiação global horizontal por região. [Figura]. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Distribuicao-da-irradiacao-global-horizontal-por-regiao-Fonte-Labren-INPE_fig1_351050847. Acesso em: 25 abr. 2023.

De acordo com Labren (2017. p. 84):

“A região Nordeste apresenta o maior potencial solar, com valor médio do total diário da Irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m² e da componente direta normal de 5,05 kWh/m². As regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentam totais diários próximos para a irradiação global horizontal em torno de 5,07 kWh/m². A irradiação global média no plano inclinado na região Sudeste apresentou total diário de 5,26 kWh/m², enquanto na região Centro-Oeste apresentou 5,20 kWh/m². Os valores relativamente mais baixos da irradiação solar na região Norte se justificam pelas características climáticas desta região, onde a nebulosidade frequente reduz a irradiância solar que incide na superfície. Com isso a irradiação global média nos planos horizontal e inclinado apresenta valores próximos aos obtidos para a região Sul e a irradiação direta normal fica inferior à de todas as outras regiões do país.”

2.3.2 Energia Fotovoltaica

2.3.2.1 Funcionamento

O efeito fotovoltaico, de acordo com o SEBRAE (2020), é um fenômeno físico que ocorre em materiais semicondutores, onde a luz incidente gera uma corrente elétrica. Esse processo é fundamental para o funcionamento das células fotovoltaicas, que são dispositivos que convertem a energia da luz solar diretamente em energia elétrica.

Conforme com o SEBRAE (2020), as células fotovoltaicas são compostas por camadas de materiais semicondutores dopados com impurezas para criar regiões com excesso de elétrons (tipo n) e outras com falta de elétrons (tipo p). Quando a luz incide sobre a célula, a energia dos fótons é absorvida pelos elétrons da camada de valência do material, permitindo que eles sejam excitados para a banda de condução, gerando uma corrente elétrica. Essa corrente elétrica é então coletada pelos contatos metálicos que formam o circuito da célula fotovoltaica. Normalmente, várias células são agrupadas em módulos e ligadas em série para gerar uma tensão maior.

Em conformidade com SEBRAE (2020), após a energia solar ser convertida em energia elétrica, ela é armazenada em baterias específicas para sistemas fotovoltaicos. Essas baterias são geralmente de chumbo-ácido ou íons de lítio, e possuem alta capacidade de armazenamento e longa vida útil. O armazenamento de energia é essencial para garantir que haja energia disponível durante a noite ou em dias nublados, quando a produção de energia solar é reduzida.

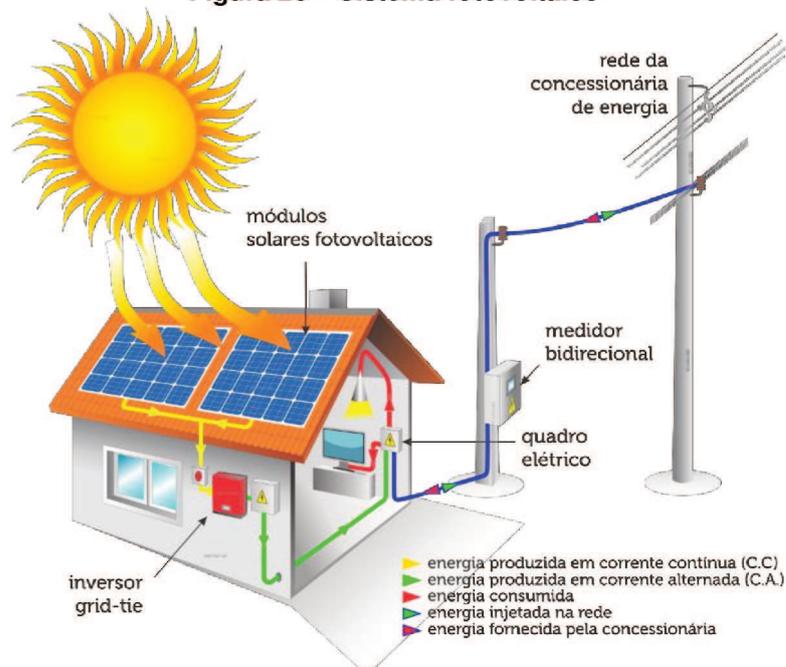
Segundo SEBRAE (2020), as baterias armazenam a energia em corrente contínua (CC) produzida pelas células fotovoltaicas. No entanto, muitos dispositivos

eletrônicos e equipamentos utilizados em residências, empresas e indústrias operam com corrente alternada (CA). Para atender a essa demanda, a corrente contínua é convertida em corrente alternada por meio do inversor, que transforma a energia elétrica armazenada em um formato utilizável para alimentar a rede elétrica local.

Ainda de acordo com SEBRAE (2020), com a instalação de um sistema de monitoramento e controle, é possível monitorar a produção e o armazenamento de energia, garantindo uma gestão mais eficiente do sistema. Sensores de temperatura e radiação solar podem ser utilizados para medir a eficiência das células fotovoltaicas e otimizar a produção de energia. O sistema também pode ser equipado com dispositivos de proteção e aterramento para garantir a segurança durante a instalação e operação do sistema.

Em resumo, um sistema fotovoltaico é capaz de converter a energia solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico nas células fotovoltaicas. A energia elétrica é armazenada em baterias e, em seguida, convertida em corrente alternada pelo inversor, tornando-a utilizável para alimentar a rede elétrica local. Com a instalação de dispositivos de monitoramento, proteção e controle, é possível garantir a eficiência, segurança e gestão eficiente do sistema fotovoltaico (Figura 26).

Figura 26 – Sistema fotovoltaico



Fonte: SEBRAE. Como funciona a energia solar? Disponível em: <https://respostas.sebrae.com.br/como-funciona-a-energia-solar/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

3.0 METODOLOGIA

Esse trabalho tem como principal objetivo comparar o rendimento de performance e financeiro de um sistema de ar-condicionado abastecido por energia solar e por energia convencional em uma planta fictícia, por meio de cálculos e de conceitos teóricos de termodinâmica.

Esses dados utilizados foram baseados em referências de dados acadêmicos, normas, obras como de Van Wylen em Fundamentos da Termodinâmica 5ª Edição e de Yunus Çengel em Termodinâmica 5ª Edição, artigos científicos e ainda arquivos virtuais. Com isso o trabalho se encaixa na metodologia científica de pesquisa bibliográfica, que de acordo com Severino (2014) a pesquisa bibliográfica se realiza por meio de teses, artigos, livros, utilizando-se informações e dados obtidos por outros autores.

4.0 DESENVOLVIMENTO

A planta fictícia voltada ao atendimento médico pode ser observada na Figura 27 abaixo:

Figura 27 - Planta Geral



Fonte: Autores, 2023

4.1 Escolha dos sistemas e dimensionamento

Como a planta é dividida entre um prédio principal (maior e à esquerda) e uma edícula (menor e à direita), optou-se pelo uso de dois sistemas diferentes. O projeto desenvolvido dividiu-se em duas vertentes, uma com o desenvolvimento de ar-condicionado central e outra com ar-condicionado ponto a ponto.

4.1.1 Considerações Gerais

Considerando a espessura das paredes com 15 cm (3 cm de reboco + 9 cm de argamassa + 3 cm de reboco) e em tom claro, construídas com tijolos de 6 furos e argamassa comum. Teto construído em concreto com 50mm de espessura e 3 metros de altura.

Altura das janelas de 1,2 m de vidro transparente com 3 mm de espessura.

Adotando uma temperatura externa de 35 °C e a temperatura interna necessária de 22,5 °C.

A. Resistência da seção "a" (reboco + argamassa + reboco) = R_a , de acordo com a fórmula 14

$$R_a = 0,130 \frac{m^2 * K}{W}$$

B. Resistência da seção “b” (reboco + parede + reboco) = R_b , de acordo com a fórmula 15

$$R_b = 0,180 \frac{m^2 * K}{W}$$

C. Resistência térmica da parede = R_p , de acordo com a fórmula 16

$$R_p = 0,175 \frac{m^2 * K}{W}$$

D. Resistência Total = R_t , de acordo com a fórmula 17

$$R_T = 0,345 \frac{m^2 * K}{W}$$

E. Coeficiente global de transmissão de calor (U) das paredes, de acordo com a fórmula 18

$$U_{parede} = 2,89 \frac{m^2 * K}{W}$$

F. Coeficiente global de transmissão de calor (U) das janelas, de acordo com a fórmula 18

$$U_{janela} = 6,04 \frac{m^2 * K}{W}$$

G. Coeficiente global de transmissão de calor (U) das portas, de acordo com a fórmula 18

$$U_{porta} = 5,71 \frac{m^2 * K}{W}$$

Nota: Não foi considerado nesse projeto a carga térmica devido à infiltração, pois os valores são ínfimos comparados com os valores totais.

4.1.2 Prédio Principal

O prédio principal é o local das principais coletas e análises laboratoriais, com isso, é composto por nove salas, divididas da seguinte forma conforme Figura 28:

- Uma Recepção
- Uma Copa

- Duas salas de espera
- Quatro salas de coleta
- Duas salas de análises

Devido ao diverso número de salas com a necessidade de uma boa refrigeração por tratarem insumos biológicos, foi utilizado um sistema de ar-condicionado central.

4.1.2.1 Cálculo das Áreas

A área total que será refrigerada do prédio principal pode ser obtida pela soma das áreas de cada sala conforme demonstrado abaixo, junto com as demandas envolvendo número de pessoas e equipamentos de cada cômodo.

$$A = L \times C \quad (36)$$

Onde:

A = Área [m²]

L = Largura [m]

C = Comprimento [m]

a) Sala de Espera 1

Elementos: 1 televisão, demanda corporal 20 pessoas rotativa e iluminação LED.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_1 = 5,05 \times 4,55 = 22,98 \text{ m}^2$

b) Sala de Espera 2

Elementos: 1 televisão, demanda corporal - 10 pessoas rotativa e iluminação LED.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_2 = 4,2 \times 3,6 = 15,12 \text{ m}^2$

c) Análise Laboratorial 1

Elementos: 7 microscópios, 3 centrífugas, 2 computadores, iluminação LED, demanda corporal - 4 analistas fixos.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_3 = (6,3 \times 3) + (1,4 \times 2) = 21,70 \text{ m}^2$

d) Análise Laboratorial 2

Elementos: 7 microscópios, 3 centrífugas, 2 computadores, iluminação LED, demanda corporal - 4 analistas fixos.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_4 = (1,3 \times 3,8) + (2,7 \times 4,4) = 16,82 \text{ m}^2$

e) Recepção

Elementos: 4 computadores, demanda corporal - 30 pessoas por hora e 4 recepcionistas fixas e iluminação LED.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_5 = 4,5 \times 5,7 = 25,65 \text{ m}^2$

f) Sala de Coleta 1

Elementos: iluminação LED, demanda corporal – 2 pessoas fixas e 2 pessoas rotativas.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_6 = 4,2 * 3 = 12,60 m^2$

g) Sala de Coleta 2

Elementos: iluminação LED, demanda corporal - 2 pessoas fixas e 2 rotativas.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_7 = 4,1 * 3 = 12,30 m^2$

h) Sala de Coleta 3

Elementos: iluminação LED, equipamentos de ultrassom, 1 computador, demanda corporal - 1 pessoa fixa e 1 rotativa.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_8 = 2,9 * 3 = 8,70 m^2$

i) Sala de Coleta 4

Elementos: iluminação LED, equipamento de raio-x, 1 computador, demanda corporal – 1 pessoa fixa e 1 pessoa rotativa.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_9 = 5 * 3,87 = 19,35 m^2$

j) Copa

Elementos: Máquina de café, demanda corporal – 5 pessoas rotativo.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A_{10} = 1,84 * 2,3 = 4,23 m^2$

Cálculo da área total.

$$A_{total} = 19,35 + 22,8 + 21,7 + 16,82 + 4,23 + 15,12 + 25,65 + 12,6 + 12,3 \\ + 8,7 = 159,27 m^2$$

4.1.2.2 Cálculo Da Carga Térmica (Prédio Principal)

4.1.2.2.1 Carga Térmica – Sala de Espera 1.

Quadro 1 – Carga Térmica – Sala de Espera 1

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	552,79	612,24	0	0	1165,03
Sul	237,34	265,50	299,34	382,64	1184,83
Oeste	552,79	612,24	0	0	1165,03
Norte	495,81	551,62	0	0	1047,43
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	10	1300		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Carga Térmica devido ao Equipamento [W]		
Televisão	1	80	80		
Iluminação LED	8	18	144		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
3832,10					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalSalaEsp1} = 9918,41W$$

Convertendo para BTU/h tem-se:

$$Q_{totalSalaEsp1} = 33841,61 \frac{BTU}{h}$$

4.1.2.2.2 Carga Térmica – Sala de Espera 2.

Quadro 2 - Carga Térmica - Sala de Espera 2

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	395,65	436,45	1240,66	0	2072,75
Sul	390,15	436,45	0	0	826,60
Oeste	386,98	426,75	0	194,07	1007,80
Norte	392,85	436,45	0	0	829,30
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	10	1300		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Televisão	1	80	80		
Iluminação LED	8	18	144		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
3448,57					

FONTE: Autores 2023

$$Q_{totalSalaEsp2} = 9709,01 W$$

Convertendo para BTU/h tem-se:

$$Q_{totalSalaEsp2} = 33127,15 \frac{BTU}{h}$$

4.1.2.2.3 Carga Térmica – Análise Laboratorial 1.

Quadro 3 - Carga Térmica - Análise Laboratorial 1

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	235,26	257,02	0,00	194,08	686,35
Sul	531,04	594,06	259,43	194,08	1578,59
Oeste	330,63	363,71	0,00	0,00	694,33
Norte	685,47	763,79	0,00	0,00	1449,25
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	4	520		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Microscópio	7	63	441		
Centrífugas	3	87	261		
Computador	2	55	110		
Monitor	2	55	110		
Iluminação LED	8	18	144		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
2143,16					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalAnallab1} = 8137,66 \text{ W}$$

Convertendo para BTU/h e acrescentando 20% a mais para áreas com insumos hospitalares tem-se:

$$Q_{totalAnallab1} = 33318,85 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

4.1.2.2.4 Carga Térmica – Análise Laboratorial 2.

Quadro 4 – Carga Térmica - Análise Laboratorial 2

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	482,35	533,44	0,00	0,00	1015,79
Sul	242,76	271,57	0,00	382,65	896,97
Oeste	482,35	533,44	0,00	0,00	1015,79
Norte	254,13	281,27	290,06	194,08	1019,53
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	4	520		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Microscópio	7	63	441		
Centrífugas	3	87	261		
Computador	2	55	110		
Monitor	2	55	110		
Iluminação LED	6	18	108		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
1905,04					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalAnalLab2} = 7403,11W$$

Convertendo para BTU/h e acrescentando 20% a mais para áreas com insumos hospitalares tem-se:

$$Q_{totalAnalLab2} = 30311,29 \frac{BTU}{h}$$

4.1.2.2.5 Carga Térmica – Recepção.

Quadro 5 - Carga Térmica – Recepção					
Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	493,19	545,56	0,00	0,00	1038,75
Sul	522,37	584,36	0,00	194,08	1300,80
Oeste	311,12	341,89	1161,94	194,08	2009,01
Norte	620,44	691,04	0,00	0,00	1311,48
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	19	2470		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Computador	4	55	220		
Monitor	4	55	220		
Iluminação LED	8	18	144		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
6402,10					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalRecepção} = 15116,12 \text{ W}$$

Convertendo para BTU/h tem-se:

$$Q_{totalRecepção} = 51576,19 \frac{BTU}{h}$$

4.1.2.2.6 Carga Térmica – Sala de Coleta 1.

Quadro 6 - Carga Térmica – Sala de Coleta 1

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	243,93	266,72	1240,66	0,00	1751,30
Sul	455,18	509,19	0,00	0,00	964,37
Oeste	330,63	363,71	0,00	0,00	694,33
Norte	362,51	402,50	0,00	194,08	959,08
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	3	390		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Iluminação LED	6	18	108		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
1428,05					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalSalaColeta1} = 6295,12 \text{ W}$$

Convertendo para BTU/h e acrescentando 20% a mais para áreas com insumos hospitalares tem-se:

$$Q_{totalSalaSalaColeta1} = 25774,72 \frac{BTU}{h}$$

4.1.2.2.7 Carga Térmica – Sala de Coleta 2.

Quadro 7 - Carga Térmica – Sala de Coleta 2

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	330,63	363,71	0,00	0,00	694,33
Sul	444,34	497,07	0,00	0,00	941,41
Oeste	265,60	290,97	871,45	0,00	1428,02
Norte	351,67	390,38	0,00	194,08	936,12
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	3	390		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Iluminação LED	6	18	108		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
1413,41					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalSalaColeta2} = 5911,27 \text{ W}$$

Convertendo para BTU/h e acrescentando 20% a mais para áreas com insumos hospitalares tem-se:

$$Q_{totalSalaSalaColeta2} = 24203,12 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

4.1.2.2.8 Carga Térmica – Sala de Coleta 3.

Quadro 8 - Carga Térmica – Sala de Coleta 3

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	265,60	290,97	930,49	0,00	1487,06
Sul	314,29	351,59	0,00	0,00	665,87
Oeste	330,63	363,71	0,00	0,00	694,33
Norte	221,62	244,90	0,00	194,08	660,59
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	2	260		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Ultrassom	1	1,5	1,5		
Computador	1	55	55		
Monitor	1	55	55		
Iluminação LED	6	18	108		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
966,67					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalSalaColeta3} = 4954,01 \text{ W}$$

Convertendo para BTU/h e acrescentando 20% a mais para áreas com insumos hospitalares tem-se:

$$Q_{totalSalaSalaColeta3} = 20283,70 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

4.1.2.2.9 Carga Térmica – Sala de Coleta 4.

Quadro 9 - Carga Térmica – Sala de Coleta 4

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	452,01	499,49	0,00	194,08	1145,57
Sul	419,42	469,18	0,00	0,00	888,60
Oeste	443,34	489,79	1394,32	0,00	2327,45
Norte	357,09	396,44	217,55	0,00	971,07
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	2	260		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Raio-x	1	82	82		
Computador	1	55	55		
Monitor	1	55	55		
Iluminação LED	6	18	108		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
1486,33					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalSalaColeta4} = 7379,01 \text{ W}$$

Convertendo para BTU/h e acrescentando 20% a mais para áreas com insumos hospitalares tem-se:

$$Q_{totalSalaSalaColeta4} = 30212,60 \frac{BTU}{h}$$

4.1.2.2.10 Carga Térmica – Copa.

Quadro 10 - Carga Térmica – Copa					
Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	204,91	223,08	0,00	0,00	427,99
Sul	153,90	172,16	0,00	194,08	520,12
Oeste	204,91	223,08	0,00	0,00	427,99
Norte	251,97	278,85	0,00	0,00	530,81
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	3	390		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Máquina de Café	1	1050	1050		
Iluminação LED	2	18	36		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
1019,64					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalCopa} = 4402,53 \text{ W}$$

Convertendo para BTU/h tem-se:

$$Q_{totalCopa} = 15021,42 \frac{BTU}{h}$$

4.1.2.2.11 Análise das Cargas Térmicas

Dessa forma, somando as cargas térmicas tem-se uma demanda efetiva total de 324.384 BTU/h.

O caso crítico pode ser observado na recepção, com uma demanda de 51.576 BTU/h.

4.1.3 Edícula

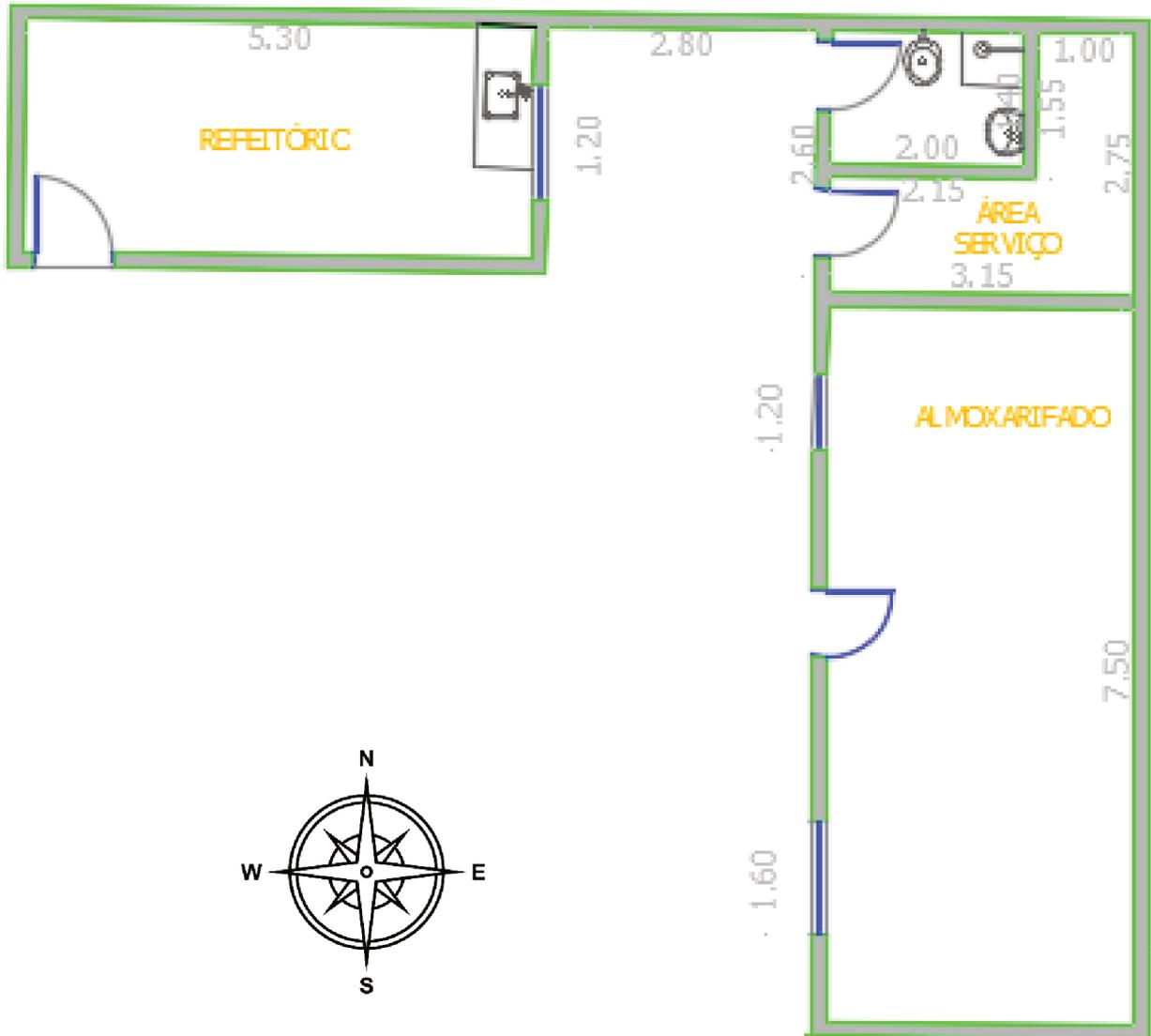
A edícula é o local onde estão localizados o refeitório e o almoxarifado, no qual estão armazenados os insumos hospitalares.

- Um Refeitório

- Um Almojarifado

Por se tratar somente de dois ambientes que necessitam ser refrigerados, optou-se por utilizar ar-condicionado de ponto a ponto.

Figura 29 - Planta da Edícula



Fonte: Autores, 2023

4.1.3.1 Cálculo da Área

A área total que será refrigerada da edícula pode ser obtida pela soma das áreas de cada sala, conforme demonstrado abaixo, junto com as demandas envolvendo número de pessoas e equipamentos de cada cômodo.

- Refeitório

Elementos: 1 televisão, demanda corporal 10 pessoas rotativas e iluminação LED, 1 micro-ondas, 1 geladeira.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A1 = 5,30 * 2,45 = 12,985 m^2$

b) Almojarifado

Elementos: 1 computador, demanda corporal – 1 pessoa fixa e 2 pessoas rotativas, 3 freezers e iluminação LED.

Área, de acordo com a fórmula 36: $A2 = 7,50 * 3,15 = 23,625 m^2$

4.1.3.2 Cálculo Da Carga Térmica (Edícula)

4.1.3.2.1 Carga Térmica – Almojarifado.

Quadro 11 - Carga Térmica – Almojarifado					
Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	818,32	909,27	0,00	0,00	1727,58
Sul	341,39	381,90	0,00	0,00	723,28
Oeste	574,11	636,08	1626,71	248,36	3085,25
Norte	344,09	381,90	0,00	0,00	725,98
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	2	260		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Congelador Grande	3	540	1620		
Computador	1	55	55		
Monitor	1	55	55		
Iluminação LED	8	18	144		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
1694,93					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalAlmojarifado} = 10091,00 W$$

Convertendo para BTU/h tem-se:

$$Q_{totalAlmoxarifado} = 34430,49 \frac{BTU}{h}$$

Considerando adicional de 20% para áreas com insumos hospitalares tem-se:

$$Q_{efetivoAlmoxarifado} = 41316,59 \frac{BTU}{h}$$

4.1.3.2.2 Carga Térmica – Refeitório.

Quadro 12 - Carga Térmica – Refeitório

Carga Térmica Devido à Radiação					
Parede	Carga Térmica Da Parede [W]	Carga Térmica Devido A Radiação [W]	Carga Térmica Dos Vidros [W]	Carga Térmica Das Portas [W]	Soma Das Cargas Térmicas [W]
Leste	251,52	275,21	3520,36	0,00	4047,08
Sul	479,02	535,86	0,00	194,08	1208,95
Oeste	303,54	333,40	0,00	0,00	636,93
Norte	577,09	642,55	0,00	0,00	1219,64
Carga Térmica Devido às Pessoas					
Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	Nº de pessoas	Carga Térmica devido às pessoas [W]		
75	55	5	650		
Carga Térmica Devido aos Equipamentos					
Equipamento	Quantidade	Calor Dissipado [W]	Calor Dissipado Total [W]		
Televisão	1	80	80		
Micro-ondas	1	2629	2629		
Geladeira	1	320	320		
Iluminação LED	6	18	108		
Carga Térmica Devido à Ventilação					
Calor Dissipado Total [W]					
1989,24					

FONTE: Autores, 2023

$$Q_{totalRefeitório} = 12888,82 W$$

Convertendo para BTU/h tem-se:

$$Q_{efetivoRefeitório} = 43976,67 \frac{BTU}{h}$$

4.3 Escolha do Equipamento

4.3.1 Ar-condicionado Central

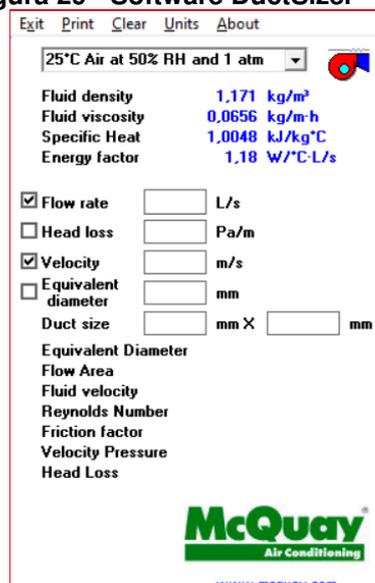
Conforme seção 4.1.2.2.11 Análise das Cargas Térmicas, é necessário utilizar um ar-condicionado central com disponibilidade de 51.600 BTU/h para cada sala, para fins de cálculo, foi escolhido o sistema MULTI V 5 STANDARD 220V (Ref.: CATÁLOGO COMERCIAL HVAC LG, 2023), modelo A(C)RUN580BTE5 de 58HP e capacidade de resfriamento de 554.100 BTU/h.

O aparelho escolhido possui um fluxo de ar total de 880 m³/s (14666,67 l/s), o dimensionamento foi realizado considerando aproximadamente 95% da sua capacidade total, resultando em um fluxo de ar de 14.000 l/s. O cálculo demonstrou que para se atender o projeto deste ar-condicionado central, foi encontrado um valor de 1.400 l/s em cada grelha e dispendo aproximadamente 52.800 BTU/h para cada sala, dessa forma, atendendo todas as demandas, até o caso crítico observado na recepção.

4.3.1.1 Sistema de Dutos

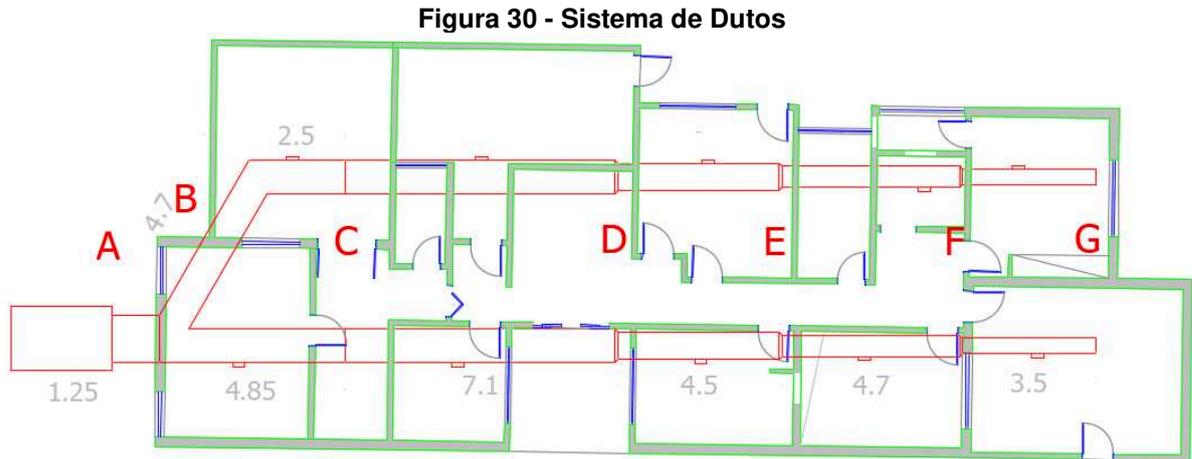
Para realizar o dimensionamento dos dutos, foi utilizado o software “*DuctSizer*” (Figura 29) fornecido pela empresa de sistemas de ar-condicionado McQuay e utilizando a velocidade do ar entre 4 e 5 m/s, conforme recomendado pela ABNT 16401 (2008).

Figura 29 - Software DuctSizer



FONTE: McQuay (modificado), 2023

Devido ao alto fluxo de ar e a redução do tamanho dos dutos, optou-se por dividir o sistema de forma a ter dois dutos principais, sendo um para as salas na porção Norte e um para as salas na porção Sul, conforme Figura 30.



FONTE: Autores, 2023

No Quadro 13, estão apresentados os resultados dos tamanhos de cada seção e as respectivas velocidades do ar em cada trecho.

Quadro 13 - Dimensionamento dos Dutos

Dimensionamento dos Dutos					
Trecho	Fluxo de Ar [l/s]	Largura [mm]	Altura [mm]	Comprimento [m]	Velocidade [m/s]
AB	14000	1750	1750	1,25	5,0
BC	7000	1250	1250	12,05	5,0
CD	5600	1250	1000	14,20	5,0
DE	4200	1000	1000	9,00	4,7
EF	2800	800	800	9,40	4,9
FG	1400	600	525	7,00	4,9

FONTE: Autores, 2023

4.3.2 Ar-condicionado Ponto a Ponto

4.3.2.1 Almojarifado

Para a demanda de 41.317 BTU/h do almojarifado é necessário utilizar dois ares-condicionados de 22.000 BTU/h, para fins de cálculo foram escolhidos dois aparelhos do tipo "Ar-Condicionado LG DUAL Inverter Voice UV Nano 24.000

Quente/Frio 220V” com capacidade nominal de 22.000 BTU/h, totalizando 44.000 BTU/h.

4.3.2.2 Refeitório

Para a demanda de 43.977 BTU/h do refeitório é necessário utilizar dois ar-condicionados de 22.000 BTU/h, para fins de cálculo foram escolhidos dois aparelhos do tipo “Ar-Condicionado LG DUAL Inverter Voice UV Nano 24.000 Quente/Frio 220V” com capacidade nominal de 22.000 BTU/h, totalizando 44.000 BTU/h.

4.4 Demanda Energética

A demanda energética média por mês por aparelho pode ser observada conforme Quadro 14.

Quadro 14 - Demanda Energética

Demanda Energética				
Aparelho	Quantidade	Potência [KW]	Horas ligado / dia	Consumo por mês [KWh/mês]
MULTI V 5 STANDARD 220V	1	40,88	14	13.736
LG DUAL Inverter Voice UV Nano 24.000 Quente/Frio 220V (Almoxarifado)	2	2	24	2.880
LG DUAL Inverter Voice UV Nano 24.000 Quente/Frio 220V	2	2	14	1.344
SOMA				17.960

FONTE: Autores, 2023

4.4.1 Energia Convencional

Para o cálculo do custo da energia convencional, foi estimado o valor de R\$ 1,00 por kwh para modalidade A4 em ponta (EDP, 2023), dessa forma o valor

estimado a ser pago por mês, para todo o sistema de refrigeração, é de R\$ 17.960,00, com valor anual de aproximadamente R\$ 215.520,00.

4.4.2 Energia Fotovoltaica

Em relação a energia fotovoltaica, foi estimada uma área disponível para instalação dos painéis solares igual a 223m².

Para atender demanda de 17.960 KWh/mês é necessário um kit de energia solar de 2.495 a 3.326 KWh/mês, segundo simulação feita pelo fornecedor do modelo Jinko Tiger PRO 550W, que foi o escolhido para fins de cálculos, no Sudeste ele fornece 2703 KWh/mês. Cada kit do modelo em questão utiliza 36 placas, de 0,65 m², utilizando-se 75% da área disponível para que seja possível realizar a instalação e manutenções futuras. Ou seja, será possível instalar 7 kits desse modelo, gerando uma média teórica de 18.900 KWh/mês.

O valor total dos kits é de R\$ 350.000,00, considerando um acréscimo de 25% no valor total para a instalação e 15% de manutenção resulta em R\$ 490.000,00.

4.4.3 Retorno Financeiro

Para obter o retorno financeiro, dividindo o valor total de gastos com a instalação e manutenção da energia fotovoltaica pelo gasto com a energia convencional, tem-se que em 2 anos e 4 meses, todo o sistema será pago (*payback*) e posteriormente resultará em lucro para o laboratório.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto atendeu a demanda necessária do ambiente laboratorial, visando conforto e bem-estar para o atendimento ao público em geral e aos funcionários como um todo.

É necessária a utilização de um ar-condicionado central de 554.100 BTU/h, para atender todos os ambientes do prédio principal, utilizando-se um sistema de dutos duplo.

Já para a edícula, são necessários quatro ares-condicionados de 22.000 BTU/h, sendo possível atender todas as salas desse local.

Os cálculos também demonstraram que, para um laboratório destinado ao atendimento médico, é necessária uma temperatura controlada e para tal demanda energética, os ares-condicionados consumirão em torno de 17.960 KWh por mês.

Dessa forma, foi demonstrado que, devido à área disponível para instalação de painéis solares, é possível a utilização de um sistema fotovoltaico para suprir toda a demanda energética do sistema de refrigeração.

Com base nos comparativos financeiros, o investimento do sistema fotovoltaico irá gerar retorno financeiro e o sistema fotovoltaico irá se pagar, considerando os valores fornecidos de geração média de energia pelo fornecedor, em aproximadamente 2 anos e 4 meses.

6.0 CONCLUSÃO

Em suma, considerando os dados apresentados nos resultados e discussões, pode-se concluir que, após comparação da energia fotovoltaica com a energia elétrica convencional, a instalação de placas fotovoltaicas, em ambientes da saúde com grande demanda térmica, pode ser feita para uma diminuição no custo da energia elétrica, e caso haja área suficiente disponível alimentar por completo todo o sistema de refrigeração do ambiente, o sistema fotovoltaico pode ser viável caso a empresa disponha de um capital de investimento relativamente alto visando a recuperação do investimento em aproximadamente 2 anos e 4 meses.

Em relação ao dimensionamento do sistema de refrigeração, pode-se observar uma grande demanda, para o caso apresentado de um laboratório com equipamentos que apresentam cargas térmicas relativamente baixas, a maior parte do calor dissipado no ambiente sendo gerada principalmente pelas salas com maior número de pessoas, como os casos da Recepção e Refeitório, e pelas salas com maiores áreas e o acréscimo de 20% por conta de insumos médicos, como no caso do almoxarifado.

7.0 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Renewable Power 2020: Analysis and key findings. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-power-2020>. Acesso em: 08 abr. 2023.

APROVA TOTAL. Segunda Lei da Termodinâmica: o que é e como funciona. Aprova Total, 15 mar. 2022. Disponível em: <https://aprovatotal.com.br/segunda-lei-da-termodinamica/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ALMEIDA, E.; AZEVEDO, L. S.; SILVA, D. C.; CARVALHO, A. L. Impact of Thermostatic Expansion Valve Selection on the Energy Performance of a Residential Air-Conditioning System. *Energies*, v. 13, n. 7, p. 1722, 2020.

BADGER, Emily; BLINDER, Alan. How Air-Conditioning Conquered America (Even the Pacific Northwest). *New York Times*, 4 ago. 2017. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2017/08/04/upshot/the-all-conquering-air-conditioner.html>. Acesso em: 30 mar. 2023.

BOXWELL, M. *Solar Electricity Handbook: A Simple, Practical Guide to Solar Energy*. Greenstream Publishing, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. Dispõe sobre a aprovação de normas e padrões para instalação e funcionamento de sistemas de climatização de ambientes. Brasília: Ministério da Saúde, 1998.

BRILEY, George C. A History of Refrigeration. P.E., Fellow/Life Member ASHRAE, [S. l.], [s. n.], 2023. Disponível em: https://alamoashrae.org/images/downloads/Historical_Articles/ahistoryofrefrigeration.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

BROWNSON, Jeffrey R. S. *Solar Energy Conversion Systems*. Elsevier, 2014.

CALDAS, L. G.; GURGEL, E. S. C.; DE MOURA, A. C. M. Indoor air quality and health problems related to air conditioning. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, v. 3, n. 8, p. 49-53, 2016.

CARNOT, S. Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. in R. Fox, Reprodução do trabalho original de Sadi Carnot de 1824. Librairie Philosophique Vrin, 1978, pp. 55-179.

CARNOT, Sadi; CLAUDIUS, Rudolf; THOMSON, William. A Segunda Lei da Termodinâmica: Memórias por Carnot, Clausius e Thomson. 1899. p.290

CASTRO, P. T.; MARJANOVIC, N.; LAZZARETTI, A. E. Geometric and thermo-hydraulic optimization of an automotive evaporator using a three-dimensional CFD model. *Applied Thermal Engineering*, v. 142, p. 553-563, 2018.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. *Termodinâmica*. 7ª ed. São Paulo: AMGH Editora LTDA, 2013. p. 1-1048.

COSTA, Ênnio Cruz da. *Refrigeração*. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1982. p. 1-331.

CREDER, Hélio. *Instalações de Ar Condicionado*. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. p. 1-326.

CUBI Energia. *Eficiência energética no ar-condicionado*. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/eficiencia-ar-condicionado/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DANFOSS. TR 6 Thermostatic Expansion Valves. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/products/dcs/valves/thermostatic-expansion-valves/thermostatic-expansion-valves/tr-6-thermostatic-expansion-valves/#tab-overview>. Acesso em: 24 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Fontes de Energia*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#:~:text=São%20exemplos%20de%20fontes%20renováveis,das%20marés%20e%20das%20ondas>). Acesso em 25/07/2022 às 16:20.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Matriz Energética e Elétrica*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 25/07/2022 às 16:40.

FRIOCLIMATIZADO. *Circuito de refrigeração e aquecimento*. Blog FRIOCLIMATIZADO, 23 abril 2019. Disponível em: <http://frioclimatizado.blogspot.com/2019/04/circuito-de-refrigeracao-e-aquecimento.html>. Acesso em: 24 abril 2023.

IEA. *Energy Statistics Data Browser*. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. Acesso em: 24 abr. 2023

INDÚSTRIAS TOSI. *Componentes do ar-condicionado*. Disponível em: <https://www.industriastosi.com.br/artigo/componentes-do-ar-condicionado/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

IFONTECH. *Kit de Energia Solar: 2495 a 3326 kWh/mês, 19.8 kWp, 36 Painéis Jinko Tiger Pro 550W, Inversor Growatt MID 15KW, 4 MPPT Trifásico 220V, Telha Ondulada*. Disponível em: <https://www.ifontech.com.br/kit-energia-solar-2495-a->

3326kwhmes-198kwp-36p-jinko-tiger-pro-550w-inv-growatt-mid-15kw-4mppt-trif-220v-telha-ondulada-179277-1. Acesso em: 06 nov. 2023

IRONRIDGE. Products. Disponível em: <https://ironridge.com/products/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

KONSTANTAKOPOULOS, Athanasios et al. Encapsulation technologies for photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 93, p. 321-338, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307196>. Acesso em: 10 abr. 2023.

LABREN - INPE. Distribuição da irradiação global horizontal por região. [Figura]. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Distribuicao-da-irradiacao-global-horizontal-por-regiao-Fonte-Labren-INPE_fig1_351050847. Acesso em: 25 abr. 2023.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª ed. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014

LAMBERTS, Roberto. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª ed. São Paulo: Editora Procel, 2014. p. 1-382.

LESTER, Paul. History of Air Conditioning. Department of Energy, 20 jul. 2015. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning>. Acesso em: 30 mar. 2023.

LI, D. et al. Recent advances in materials and devices for solar cells. *Energy & Environmental Science*, v. 6, n. 6, p. 1688-1713, 2013. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/ee/c3ee40800a#!divAbstract>. Acesso em: 10 abr. 2023.

LOHSE, R.; EICHERT, H.; WAGNER, U. The importance of the correct thermostatic expansion valve selection. *HVAC&R Research*, v. 23, n. 4, p. 365-372, 2017.

LOUREIRO, V. F.; DIAS, G. F.; BUENO, L. S. Performance evaluation of an air conditioning system with optimized evaporator coil. *Applied Thermal Engineering*, v. 142, p. 394-402, 2018.

MARJANOVIC, N.; CASTRO, P. T.; LAZZARETTI, A. E. Modeling and optimization of an automotive air conditioning evaporator using numerical simulation. *Applied Thermal Engineering*, v. 110, p. 1467-1475, 2017.

MARTINS, F. R.; GOMES, A. F.; AMARAL, A. R. Valve Expansion Problem Detection in Air Conditioning Systems. *Procedia Manufacturing*, v. 21, p. 52-59, 2018.

Ministério de Minas e Energia. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro - Março de 2023. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/documents/1138775/3345849/Boletim+Mensal+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+Brasileiro+-+Mar%C3%A7o+de+2023.pdf/30ec48b6-76db-3df3-f434-6b9c9b6321a8>. Acesso em: 08 abr. 2023.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D.; BAILEY, Margaret B. *Princípios de Termodinâmica para Engenharia*. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. p. 1-1417.

QUEIROZ, G. F.; LOUREIRO, V. F.; DIAS, G. F. Performance evaluation of a refrigeration system using different types of evaporator coils. *Applied Thermal Engineering*, v. 2021. , p. 182

RAGHAVAN, V.; APREA, C.; CUI, Y. An experimental study of the effect of thermostatic expansion valve operation on the performance of a split-type air conditioning system. *Energy Conversion and Management*, v. 197, p. 111938, 2019.

REFRIGERAÇÃO, Portal Da. Evaporador. Disponível em: https://refrigeracao.net/topicos/evaporador_1. Acesso em: 24 abr. 2023.

REIS, Pedro. “Energia solar: como funciona, vantagens e desvantagens.”. Portal-Energia. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/energia-solar/>. Acesso em 20/07/2022.

Revista do Frio. (s.d.). Como funciona um sistema de refrigeração? Recuperado em 14 de setembro de 2022, de <https://revistadofrio.com.br/como-funciona-um-sistema-de-refrigeracao/#:~:text=Um%20sistema%20de%20refrigera%C3%A7%C3%A3o%20t%C3%ADpico,formas%20de%20l%C3%ADquido%20e%20vapor.>

SEBRAE. Como funciona a energia solar? Disponível em: <https://respostas.sebrae.com.br/como-funciona-a-energia-solar/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

SEMANTIC SCHOLAR. Bioelectricity: basics, technologies and issues. [online] Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/abef/1d505c90f629dd0bf36652356482c30086aa.pdf>. Acesso em 20/07/2022.

SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. Junction Box Installation Manual. Disponível em: <https://files.sma.de/dl/1478/InstallationManual-JunctionBox-EN.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

SOARES, C. L. Análise Econômica da Geração de Energia Elétrica com Placa Fotovoltaica. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em 30/07/2022 às 20:13.

STOECKER. Refrigeração e Ar Condicionado. São Paulo: ABDR, 1985. p. 1-252.

SUNPOWER. Maxeon Solar Panels. Disponível em: <https://us.sunpower.com/products/solar-panels/maxeon-solar-panels/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Tabela de Tarifas de Energia Elétrica. Disponível em: https://www.edp.com.br/media/bu4gxu45/tabela-tarifas_sp_mt-at.pdf. Acesso em: 06 nov. 2023.

TECNOBLOG. Como funciona o ar-condicionado: conheça as partes do equipamento. 2021. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/como-funciona-o-ar-condicionado-conheca-as-partes-do-equipamento/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

Tipos de compressores utilizados em ar-condicionado. WebArCondicionado, [S.I.], 2023. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/tipos-de-compressores-utilizados-em-ar-condicionado>. Acesso em: 24 abr. 2023.

UNIRAC. SolarMount. Disponível em: <https://unirac.com/product/solarmount/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Universidade de São Paulo. (2015). Ciclos de refrigeração. Recuperado em 14 de setembro de 2022, de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5123295/mod_resource/content/2/12%20-%20Ciclos%20de%20refrigerac%CC%A7a%CC%83o_2015.pdf

VAN WYLEN. Fundamentos da Termodinâmica. 5ª ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1997. p. 1-548.

WASOLAR. Energia solar irá movimentar R\$100 bilhões no Brasil até 2030. Disponível em: <https://www.wasolar.com.br/energia-solar-ira-movimentar-r100-bilhoes-no-brasil-ate-2030#:~:text=Segundo%20a%20Ag%C3%AAncia%20Nacional%20de,movimentar%20cerca%20de%20R%24100> Acesso em: 24 abr. 2023

WEB AR CONDICIONADO. Compressor do ar condicionado: o que é e como funciona. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/compressor-do-ar-condicionado-o-que-e-e-como-funciona>. Acesso em: 24 abr. 2023.

WHITE, S. Solar Photovoltaic Basics: A Study Guide for the NABCEP Associate Exam. Routledge, 2015.

WWM Consultoria. (s.d.). Como funciona um ar-condicionado? Recuperado em 14 de setembro de 2022, de <https://wwmconsultoria.com/como-funciona-um-ar-condicionado/>

ZHANG, Zhenhua et al. Recent Progress in Flexible and Semi-Transparent Photovoltaic Cells. *Advanced Materials*, v. 29, n. 33, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.201606710>. Acesso em: 10 abr. 2023.