

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Collection: applied mechanical engineering

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Gilberto João Pavani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering / Organizador
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-860-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.608220102>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João
(Organizador). II. Título.

CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied mechanical engineering” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na mensuração da criticidade na manutenção de equipamentos, análise de desempenho de indicadores de manutenção, análise de modo e efeito de falha para o desenvolvimento de um plano de manutenção, estudo cinemático das velocidades de um mecanismo genérico, avaliação da eficiência e utilização de ventiladores com motores eletrônicos em sistemas de ar condicionado industrial, desenho de mecanismo e estrutura para animatrônicos, estudo da posição de um mecanismo de quatro barras por meio de uma interface gráfica, modelo matemático para obter a componente axial da velocidade absoluta nos impulsores de turbocompressores centrífugos, mensuração do aumento de eficiência de produção e energia elétrica usando o pré-resfriamento para o ultracongelamento de pães, requisitos metrológicos, ondas de Lamb e métodos estatísticos para detecção do limiar de dano aplicado à estruturas de aeronaves e uso da visão por computador para identificação de circuitos integrados em placas eletrônicas.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DE CRITICADE DOS EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CALHAS PLUVIAIS

Pierre Breno Nunes de Assis
Beatriz da Costa Lima
Claudecir Fernandes de Freitas Moura Júnior
Matheus Gomes Lima
Patric de Holanda Nogueira
Ramon Rudá Brito Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201021>

CAPÍTULO 2..... 16

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DO VALE DO JAGUARIBE

José Guilherme Queiroz Sousa
Patric de Holanda Nogueira
James Rodrigo da Silva Lima
Luan Victor Diniz Campos
Ramon Rudá Brito Medeiros
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201022>

CAPÍTULO 3..... 28

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM SISTEMA DE LIMPEZA E PINTURA EM EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO

Vinícius Gomes Silva
Daniel Levi Maia Matos
João Víctor Nogueira Gonçalves
Gilvan Antônio Cappi
Ramon Rudá Brito Medeiros
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201023>

CAPÍTULO 4..... 42

APLICAÇÃO DIDÁTICA NO ESTUDO CINEMÁTICO DAS VELOCIDADES DE UM MECANISMO GENÉRICO DE QUATRO BARRAS

Vergara Hernández Erasto
Pérez Millán Brenda Carolina
Cea Montufar César Eduardo
Torres Torres Yael Valdemar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201024>

CAPÍTULO 5..... 52

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E UTILIZAÇÃO DOS VENTILADORES COM MOTORES

ELETRÔNICOS (EC) - APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO INDUSTRIAL

Abimael J. Urcino Junior

Samuel Mariano do Nascimento

Eliandro Barbosa de Aguiar

Alexandre Fernandes Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201025>

CAPÍTULO 6..... 68

DISEÑO DE MECANISMOS Y ESTRUCTURA PARA EL ANIMATRÓNICO DEL DINOSAURIO TRICERATOPS

Roberto Carlos García Gómez

Hernán Valencia Sánchez

Juan Carlos Niños Torres

Mario Alberto Cruz Padilla

Fernando Alfonso May Arrioja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201026>

CAPÍTULO 7..... 80

ESTUDO DA POSIÇÃO DE UM MECANISMO DE QUATRO BARRAS POR MEIO DE UMA INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO

Vergara Hernández Erasto

Pérez Millán Brenda Carolina

Cea Montufar César Eduardo

Yael Valdemar Torres Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201027>

CAPÍTULO 8..... 90

LA ECUACIÓN DE SEGUNDO GRADO COMO MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER LA COMPONENTE AXIAL (C_{2U}) DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA EN LOS IMPULSORES DE LOS TURBOCOMPRESORES CENTRÍFUGOS

Tena Verdejo Juan

Santiago Gabino Francisco

Tena Galván Sandra Zulema

Oropeza Ramírez Salvador

Gutierrez Pola Marlenne

Ordoñez Tapia Mayanin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201028>

CAPÍTULO 9..... 98

MENSURAÇÃO DO AUMENTO DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO E ENERGIA ELÉTRICA USANDO O PRÉ RESFRIAMENTO PARA O ULTRACONGELAMENTO DE PÃES

Leandro Fluvio Torno

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Sariah Torno

Darlo Torno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201029>

CAPÍTULO 10.....	110
REQUISITOS METROLÓGICOS LEGAIS PARA MEDIÇÃO FISCAL APLICADOS A UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE PETRÓLEO (FPSO): CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	
Hélio Damásio de Lima Filho	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antônio Robson Gurgel	
Antonio Rodolfo Paulino Fernando Pessoa	
André Luís Novaes Motta	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010210	
CAPÍTULO 11	124
SHM BASEADO EM ONDAS DE LAMB E MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O LIMAR DE DETECÇÃO DE DANO APLICADO A ESTRUTURAS DE AERONAVES	
Lucas Altamirando de Andrade da Rocha	
Roberto Mendes Finzi Neto	
Valder Steffen Jr	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010211	
CAPÍTULO 12.....	138
VISIÓN POR COMPUTADORA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS EN TARJETAS ELECTRÓNICAS	
Samuel Sotelo Martínez	
Raúl García García	
Rafael Ocampo Martínez	
Marco Antonio Olivo Flores	
Pablo Saúl Espinoza Aguirre	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010212	
CAPÍTULO 13.....	148
AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO EM CAVIDADES DIRIGIDAS COM USO DO DESIGN CONSTRUTAL	
Priscila Martta Rodrigues	
Cícero Coelho de Escobar	
Flávia Schwarz Franceschini Zinani	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010213	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	159
ÍNDICE REMISSIVO.....	160

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E UTILIZAÇÃO DOS VENTILADORES COM MOTORES ELETRÔNICOS (EC) - APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO INDUSTRIAL

Data de aceite: 10/01/2022

Data de submissão: 10/12/2021

Abimael J. Urcino Junior

FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/6210278816281020>

Samuel Mariano do Nascimento

FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7171883288003484>

Eliandro Barbosa de Aguiar

FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
<https://orcid.org/0000-0001-9994-7736>

Alexandre Fernandes Santos

FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

RESUMO: Os ventiladores que utilizam motores do tipo eletrônico têm ganhado bastante mercado e sendo cada vez mais aplicados nos mais diversos equipamentos relacionados ao HVAC industrial, como, por exemplo, unidades de tratamento de ar (UTA), desumidificadores químicos, unidades de fluxo de ar unidirecional, entre outros. Com base nesta tendência, foi realizado um estudo comparativo entre os novos ventiladores EC e os ventiladores tradicionais de polia e correia com motes AC. Para este estudo, foram simuladas diversas seleções de pontos

de operação (vazão x pressão, comparativo da manutenção das duas tecnologias, além de um estudo de custos para aquisição e implantação, a fim de se evidenciar em quais faixas de operação determinada tecnologia é mais eficiente que a outra, qual tem uma manutenção mais pesada em termos de quantidade de horas, e, por fim, qual o custo de implantação das mesmas. Isto foi obtido ao se comparar os resultados de eficiência dos ventiladores, potência instalada e check lists de manutenção. Assim, foi evidenciado que uma determinada tecnologia de ventiladores é realmente mais eficaz e gera uma demanda de carga menor em pontos de operação para baixas pressões e vazões, onde esta mesma tecnologia também apresenta uma necessidade de menor tempo parado para manutenção. Porém, para médias e altas vazões e pressões, ficou constatado que existe uma perda de eficiência e uma necessidade consequente de demanda de carga instalada maior.

PALAVRAS-CHAVE: Ventiladores, Motores EC, Ventiladores de polia e correia.

ABSTRACT: Fans that use electronic motors have gained a lot of market and are increasingly being applied in the most diverse equipment related to industrial HVAC, such as, for example, air treatment units (UTA), chemical dehumidifiers, flow units. unidirectional air, among others. Based on this trend, a comparative study was carried out between the new EC fans and the traditional pulley and belt fans with AC motes. For this study, several selections of operating points were simulated (flow x pressure, comparison of maintenance of the two technologies, in addition

to a cost study for acquisition and implementation, in order to show in which operating ranges a given technology is more efficient than the other, which has a heavier maintenance in terms of hours, and, finally, what is the cost of implementing them. This was obtained by comparing the results of fan efficiency, installed power and check lists. Thus, it was shown that a given fan technology is actually more efficient and generates a lower load demand at operating points for low pressures and flows, where this same technology also has a need for less time for maintenance, however, for medium and high flows and pressures, it was found that there is a loss of efficiency and a consequent need for a higher installed load demand.

KEYWORDS: Fans, EC Motors, Pulley and Belt Fans.

1 | INTRODUÇÃO

Os conjuntos de moto-ventiladores são componentes essenciais em sistemas de climatização e refrigeração. Sem eles não seria possível promover a recirculação de ar, conduzir o ar tratado (refrigerado e/ou filtrado) ao ambiente, através de redes de dutos, tão pouco seria possível fazer a exaustão de gases poluidores nos sistemas de exaustão. Sendo assim, ao longo dos anos, foram realizados diversos avanços na engenharia de construção destes componentes, visando sempre uma maior capacidade de vazão de ar e pressão, a fim de se vencer as perdas de cargas, impostas por dutos, filtros, grelhas e demais componentes de um sistema de climatização.

Os ventiladores podem ter diversas formas construtivas, variando conforme sentido de fluxo, tipo de rotores, acoplamentos e sistemas de transmissão e, mais recentemente, podem variar o tipo de motor. Podem ser eles: centrífugos com pás voltadas para frente ou para trás de simples ou dupla aspiração, e ventiladores axiais. Quanto ao acoplamento, podem variar entre polia e correia, acoplamento direto, *plenum fan*, entre outros.

A ênfase deste artigo será a comparação entre os ventiladores centrífugos tradicionais de polia e correia com motores de corrente alternada (AC) e os novos ventiladores tipo *plenum fan* com motores eletrônicos. Será uma comparação de potência instalada e eficiência de cada tipo de ventilador em diversos pontos de operação (vazão x pressão), a fim de identificarmos faixas e limites ideais para aplicação de cada tecnologia, manutenções e custo de implantação. Visto que atualmente a utilização dos ventiladores centrífugos é altamente difundida nas mais variadas aplicações comerciais e sobretudo industriais, a intenção é identificar pontos de oportunidade onde estes ventiladores poderiam ser substituídos por novos ventiladores eletrônicos, trazendo ganho de eficiência energética para as instalações e reduzindo a carga demandada para acionamento dos ventiladores e tempo de manutenção. Para novas instalações, também será possível reduzir o custo de instalação elétrica entre os ventilares tradicionais e os eletrônicos, já que os mesmos dispensam o uso de inversores de frequência para modulação, pois já possuem chips eletrônicos embarcados que permitem tal variação.

Da mesma maneira, será possível identificar se existem e quais são as faixas

onde os ventiladores eletrônicos não são tão eficientes ou mesmo são menos eficientes em comparação com os ventiladores centrífugos de polia e correia, a fim de evitar emprego de tecnologia inadequada para cada aplicação.

Para esta comparação, será feita uma breve apresentação das características técnicas de cada tecnologia com o objetivo de destacar onde as mesmas se divergem. Após isto, será feito um estudo comparativo entre diversas seleções de ventiladores, *check lists* de manutenção e estudo de custos para implantação. Para isto, utilizaremos *softwares* de seleção de dois fabricantes que são referências no mercado brasileiro, informações de um plano de manutenção real de uma indústria farmacêutica, além de dados de orçamentos reais para implantação da tecnologia.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme CREDER (2004), todos os sistemas de ar condicionado promovem a circulação de ar através de ventiladores. Podendo estes serem considerados bombas de ar, que têm por função vencer as pressões de resistências impostas pelo sistema. De modo geral, existem algumas definições que podem ser identificadas observando o funcionamento dos ventiladores.

Conforme CREDER (2004):

- A capacidade do ventilador é proporcional a sua rotação;
- A pressão do ventilador é proporcional ao quadrado de sua rotação;
- A potência do ventilador é proporcional ao cubo de sua rotação.

Se pode considerar algumas importantes características que são inerentes a todo ventilador, sendo elas:

- **Vazão do ventilador:** Volume de ar que passa pelo ventilador;
- **Velocidade de saída do ventilador:** Obtida através da divisão do volume de ar pela sua área;
- **Pressão dinâmica:** É a pressão que corresponde à velocidade do ar na saída do ventilador;
- **Pressão total:** É a diferença entre a pressão total do ar na saída do ventilador e a pressão total do ar na entrada;
- **Pressão estática:** É a diferença entre a pressão total e a pressão devida à velocidade (pressão dinâmica).

Segundo MACINTYRE (1990), existem vários critérios pelos quais se pode classificar os ventiladores, sendo os listados a seguir os mais usuais.

Por pressão:

- **Baixa Pressão:** Ventiladores que possuem uma pressão efetiva de até 200

mmCa;

- Média Pressão: Ventiladores que possuem uma pressão efetiva de 200 a 800 mmCa;
- Alta Pressão: Ventiladores que possuem uma pressão efetiva de 800 a 2500 mmCa;
- Muito Alta Pressão: Ventiladores que possuem uma pressão efetiva acima de 2500 mmCa (Chamados de Turbo compressores).

Pela forma construtiva:

- Centrífugos: Quando a trajetória do ar é aproximadamente um plano normal ao eixo, portanto uma espiral;
- Hélico-centrífugos: Quando a trajetória do ar no interior do rotor descreve uma hélice sobre uma superfície de revolução cônica;
- Axiais: Quando a trajetória do ar no rotor é uma hélice descrita em uma superfície aproximadamente cilíndrica.

Com relação à forma construtiva, se pode ainda classificar conforme a especificação do rotor dos ventiladores.

Para ventiladores centrífugos temos:

- Pás inclinadas para trás (*limit load*);
- Pás retas inclinadas para trás;
- Pás Radiais;
- Pás curvadas para frente (Sirocco).

Segue abaixo característica dos principais ventiladores utilizados em aplicações de ar condicionado e climatização industrial, e que serão alvo deste estudo.

Ventiladores com pás curvadas para trás (*limit load*):



Figura 1. Ventilador *limit load* (Soler Palau, 2021)

- É considerado o mais eficiente entre os centrífugos;
- É menos ruidoso;

- É muito utilizado em sistemas de ar condicionado;
- Apresenta uma maior eficiência;
- Não apresenta problemas de sobrecarga por projeto incorreto ou operação inadequada do sistema (equipamento robusto).

Ventiladores com pás curvadas para frente (Sirocco):



Figura 2. Ventilador Sirocco (Soler Palau, 2021)

- Apresenta certa instabilidade na curva característica para baixas vazões;
- A potência requerida de motor cresce constantemente com o aumento da vazão;
- Requer cuidado na determinação do ponto de operação do sistema e na seleção do motor de acionamento;
- Ocupa pouco espaço;
- Tem eficiência menor que a do centrífugo com pás curvadas para trás.

Para ventiladores axiais temos:

- Ventilador tubo-axial;
- Ventilador axial propulsor.

Ventilador tubo-axial:



Figura 3. Ventilador Tubo Axial (Soler Palau, 2021)

- Em geral, são menos eficientes e mais ruidosos que os ventiladores centrífugos;
- É constituído por uma carcaça tubular e um rotor axial;

- Apresenta baixas pressões;
- O motor pode ser acoplado diretamente ao rotor.

Ventilador axial propulsor:



Figura 4. Ventilador Axial Propulsor (FEG / Unesp 2021)

- Adequado para grandes vazões de ar e pequenas pressões;
- Muito aplicado em unidades de resfriamento e aquecimento, ventilação exaustora e torres de resfriamento.

A gama de ventiladores é muito extensa e pode também ser classificada quanto ao tipo de acoplamento entre rotor e motores, posição de descarga, entre outras formas construtivas. Em geral, além dos modelos já explicitados, se pode citar: Ventiladores *plenum fan* e *air foil*.

Ventiladores eletrônicos

Um modelo de ventilador que vem sendo amplamente utilizado são os chamados ventiladores eletrônicos, que na sua parte construtiva de rotor são idênticos aos ventiladores *plenum fan*, mas que se diferem quanto ao tipo de motor utilizado no acionamento.

Segundo *ZIEHL-ABEGG* (2018), ventiladores eletrônicos são ventiladores *plenum fan*, acionados por motores eletronicamente comutados EC.



Figura 5. Ventilador Tubo Axial (*ZIEHL-ABEGG*, 2018)

Seguem abaixo, conforme *ZIEHL-ABEGG* (2018), as principais características dos ventiladores eletrônicos:

- Possuem motores de corrente contínua e eletronicamente comutados;

- Dispensam o uso de inversores de frequência para acionamento;
- Possibilitam partida em rampa;
- O controle de velocidade é feito através de sinal externo enviado ao chip integrado no motor;
- Requerem espaços menores para instalação;
- Possibilitam maior confiabilidade ao sistema, visto que comumente são empregados mais de um ventilador em paralelo dentro de unidades de tratamento de ar;
- Apresentam menores níveis de ruído e vibração.

No estudo a seguir, será feita uma comparação entre as seleções para unidades de tratamento de ar, comparando aplicações com uso de ventiladores centrífugos *limit load* (com motores convencionais) e ventiladores *plenum fan* (com motores EC), com o objetivo de verificarmos o que seria mais indicado em cada faixa de operação, comparando também sua manutenção e seu custo de implantação.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo do estudo foi avaliar as principais tecnologias de ventiladores empregadas atualmente em unidades de tratamento de ar (UTA) industriais, verificando em quais pontos de operação se justifica a escolha entre uma ou outra. *Check list* e tempo de manutenção e estudo de custos de implantação também foram avaliados, para tal foram escolhidos os ventiladores centrífugos *limit load* com motores de corrente alternada tradicionais, que já são amplamente empregados nas mais diversas aplicações e os ventiladores do tipo *plenum fan* com motores eletronicamente comutados EC.

3.1 Pontos de operação

Para realização do trabalho, foram analisados os dados obtidos na seleção dos ventiladores em variados pontos de operação (vazão x pressão), através dos softwares *Fan Select* para os ventiladores plenum Fan EC e *Vortex* para ventiladores centrífugos *limit load*.

O foco da análise é aplicação em unidades de tratamento de ar para indústria. Estes equipamentos tipicamente trabalham em baixas e médias pressões, conforme limites abaixo:

- Baixa pressão: Ventiladores que possuem uma pressão efetiva de até 200 mmCa;
- Média pressão: Ventiladores que possuem uma pressão efetiva de 200 a 800 mmCa.

Sendo assim, serão adotados nove pontos de operações dentro das faixas de

pressão especificadas. Após seleção dos equipamentos, serão comparados os resultados, sobretudo potência demandada de motores e eficiência de cada tecnologia empregada. Como premissa, será adotado que a vazão e a pressão devem ser alcançadas por um único equipamento (no caso dos ventiladores centrífugos *limit load*) e possíveis associações de ventiladores em paralelo (no caso dos *plenum fan EC*), conforme selecionado pelo software.

Primeiramente, serão analisados pontos com vazão e pressão crescentes (ou seja, à medida que a vazão for subindo, a pressão adotada também será maior, segue tabela abaixo:

SEQUÊNCIA PONTOS DE OPERAÇÃO - 01		
PONTO	VAZÃO (m ³ /h)	PRESSÃO (mmCA)
1	2500	80
2	5000	120
3	10000	160
4	15000	200
5	20000	240

Tabela 1. Pontos de Operação – 01

Em um segundo momento, foram invertidas as vazões com as pressões (ou seja, a menor vazão corresponde à maior pressão do ponto de seleção) a fim de verificar se há alguma influência nos resultados).

SEQUÊNCIA PONTOS DE OPERAÇÃO - 02		
PONTO	VAZÃO (m ³ /h)	PRESSÃO (mmCA)
6	5000	200
7	10000	160
8	15000	120
9	20000	80

Tabela 2. Pontos de Operação – 02

Como critérios, serão comparados os modelos de ventiladores mais comumente usados em unidades de tratamento de ar, sendo eles: Centrífugo *limit load* de dupla aspiração e Ventiladores *plenum fan* com motores EC. Será considerada uma pressão atmosférica de 760 mmHg e uma temperatura do ar de 16°C. Para efeito de seleção, será escolhido o primeiro modelo determinado pelos softwares como o mais indicado.

Seguem abaixo seleções realizadas:

PONTO	VENTILADOR CENTRÍFUGO LIMIT LOAD				VENTILADOR PLENUM FAN COM MOTOR EC			
	ROTAÇÃO (RPM)	NÍVEL DE RUÍDO (Db)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA (%)	ROTAÇÃO (RPM)	NÍVEL DE RUÍDO (Db)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA (%)
1	3092	84	1051	60%	2673	76	929	62%
2	2637	87	3030	62%	3892	86	2782	65%
3	2300	87	6722	75%	2940	89	7697	59%
4	2053	91	12797	73%	3137	101	18500	60%
5	1998	93	20542	73%	-	-	-	-
6	3536	94	6590	55%	4039	95	5408	52%
7	3598	92	4347	64%	2940	89	7697	60%
8	1617	86	7413	77%	3066	93	8653	62%
9	1043	83	6538	77%	2629	91	8004	60%

Obs.: Para o ponto de seleção 5, a tecnologia de ventiladores *plenum fan*, com motores eletrônicos, não consegue atingir seleção.

Tabela 3. Seleção de Ventiladores

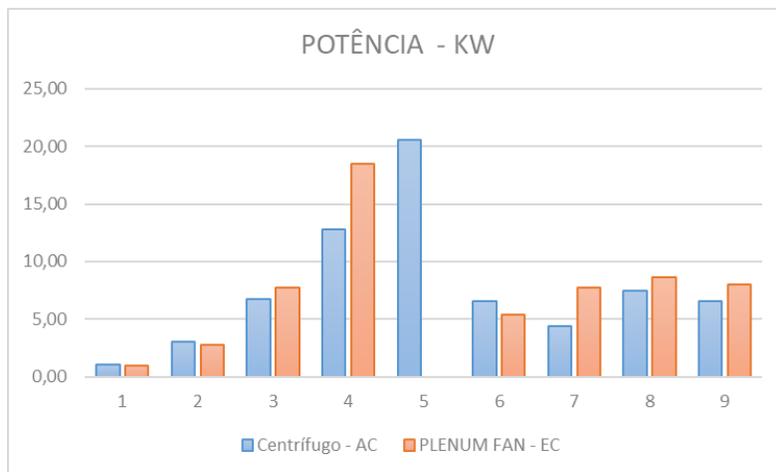


Figura 6. Gráfico de Potência dos Ventiladores Selecionados

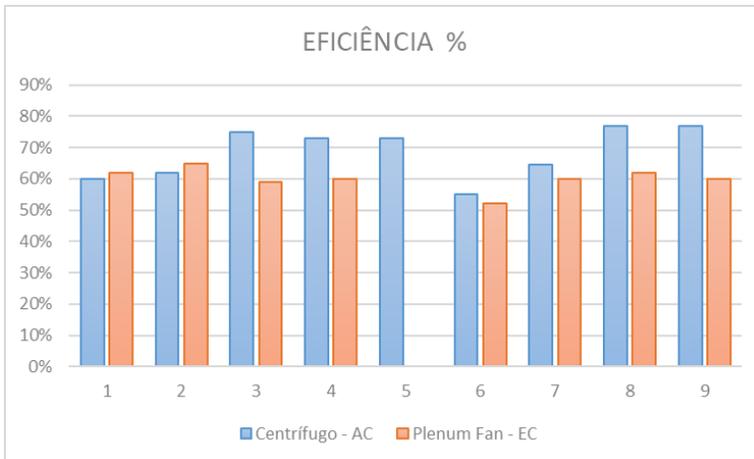


Figura 7. Gráfico de Eficiência dos Ventiladores Selecionados

3.2 Manutenção

De maneira geral, a manutenção de um ventilador *plenum fan* EC é bem distinta quando comparada à de um ventilador centrífugo que utiliza polia e correia e um motor convencional AC para seu funcionamento. Será feita abaixo uma breve descrição dos principais componentes de cada tipo de ventilador e, após, será realizada uma comparação entre a manutenção de um e outro, a fim de identificar qual modelo tem uma manutenção mais simplificada e qual equipamento permite a instalação em um maior tempo de disponibilidade para operar.

Ventiladores *Plenum Fan* EC: Estes ventiladores apresentam baixo número de componentes, tanto componentes diretos (do próprio ventilador) quanto componentes indiretos, que serão instalados para acionamento e proteção dos mesmos. Basicamente, é possível listar que estes equipamentos são compostos por: rotor, motor EC acoplado diretamente ao rotor e sua base de fixação. Todos componentes de acionamento e proteção como inversores, relés de segurança já são integrados à placa eletrônica acoplada ao motor. Sendo assim, a manutenção preventiva deste tipo de equipamento pode ser considerada como dispensável, a não ser por eventuais limpezas que se fizerem necessárias, visto que, quando o motor ou a placa apresentar falha, a solução imediata é a troca do mesmo e não qualquer reparo. Conforme verificado no catálogo dos fabricantes, esta tecnologia tende a apresentar uma vida útil superior a 40 mil horas em condições normais de operação.

Ventiladores Centrífugos Polia e Correia com motor AC: Possuem maior número de componentes quando comparado ao modelo anterior. Os principais componentes desta tecnologia são: rotor, voluta do ventilador, motor AC, polias, correias, mancais e rolamentos e componentes anti-vibração. Sem dúvida alguma, os componentes que mais sofrem desgastes são as polias e correias. Sobretudo no caso das correias não é possível

precisar com exatidão qual o tempo de vida útil das mesmas, porém rotineiramente elas devem ser inspecionadas visualmente a fim de constatar desgastes excessivos e também tensionadas, quando constatado que estão folgadas.

Com o objetivo de compararmos a manutenção dos ventiladores, foram coletados dados reais junto ao departamento de PCM de uma grande indústria farmacêutica, onde há em seu parque fabril tanto ventiladores centrífugos convencionais, quanto ventiladores plenum fan com motores EC. A tabela abaixo tem por objetivo apresentar as manutenções que são feitas nestes equipamentos. Com base nestes dados, será possível mensurar o tempo gasto anualmente em manutenção, com a intenção de se identificar qual dos dois tipos tem o menor HHT (planejado), para manutenções.

CHECK LIST DE MANUTENÇÃO							
DESCRIÇÃO	VENTILADOR CENTRÍFUGO LIMIT LOAD DE POLIA E CORREIA COM MOTOR AC			PLENUM FAN COM MOTOR EC			QTD. HORAS PARA EXECUÇÃO
	MENSAL	TRIMESTRAL	ANUAL	MENSAL	TRIMESTRAL	ANUAL	
Lubrificar mancais		X			X		0,5
Lubrificar rolamentos		X			X		0,5
Verificar acoplamentos	X				X		0,5
Efetuar limpeza do rotor	X						1
Efetuar limpeza do ventilador	X						1
Verificar ruídos de rolamentos e vibrações anormais		X			X		0,5
Medição de vibração do rotor			X			X	0,5
Checar protetor de polias e correias		X					0,5
Verificar polia (observar possíveis folgas entre a chaveta e a polia, verificar se não está desgastada, com trincas, amassada, quebrada e se está bem fixada ao eixo)	X						0,5
Verificar alinhamento, rachaduras e desgaste da correia de tração	X						0,5
Tensionar correias	X						0,5
Checar pintura e integridade do ventilador		X					0,5
Checar coxins antivibratórios		X			X		0,5
Efetuar reaperto nos parafusos de fixação do motor elétrico		X					0,5
Efetuar reaperto nos parafusos de fixação dos mancais do rolamento do ventilador		X					0,5
Megar motor. Acoplar monômetro entre bobinas e entre bobinas e carcaça, registrar menor valor	X						0,5
Verificar integridade e fixação dos cabos de ligação	X			X			0,5
TOTAL DE HORAS ANUAIS GASTAS EM MANUTENÇÃO		76,5			7,0		

Tabela 4. Check List de Manutenção

Fonte: Plano de manutenção unidades de tratamento de ar *Reintech. / Indústria Farmacêutica.*

Após o levantamento, se pode observar que os ventiladores centrífugos possuem mais itens a serem verificados em comparação com os ventiladores *plenum fan* EC. Da

mesma maneira, a periodicidade das verificações e intervenções são menores, o que resulta em uma quantidade de horas planejadas anualmente para manutenção bem superior. Percentualmente, a economia de HHT, quando se tem um ventilador EC em vez de um centrífugo convencional, pode chegar a 91,5%, tomando como base o plano de manutenção aqui apresentado.

3.3 Custo de implantação

Para o comparativo de custos entre as duas tecnologias, foi realizado junto a fornecedores o levantamento dos custos de aquisição dos ventiladores centrífugos convencionais e dos *plenum fan* EC, a fim de se determinar uma média de diferença de valor entre as duas tecnologias. Após isto, foi realizado um levantamento dos custos (datado em setembro de 2021), inerentes à instalação de cada ventilador, bem como o custo de substituição de ventiladores antigos por novos de tecnologia EC, para o caso de *retrofit* de equipamentos existentes. Para o levantamento de custos, foram usados os mesmos pontos de operação da comparação de eficiência e potência instalada. Seguem abaixo valores encontrados:

VALOR DE AQUISIÇÃO DOS VENTILADORES	
VENTILADOR CENTRÍFUGO <i>LIMIT LOAD</i> - MOTOR AC	VENTILADOR <i>PLENUM FAN</i> - MOTOR EC
R\$ 95.786,87	R\$ 160.000,00

Tabela 5. Valor de Aquisição

Com base nos dados obtidos, foi possível observar uma diferença média de 67% no valor dos ventiladores. Para este cálculo comparativo, será considerado os seguintes valores médios de instalação elétrica e automação para instalação dos ventiladores. Estes valores foram obtidos através de valores médios do mercado e de instalações reais com escopo semelhantes.

ITEM	VENTILADOR CENTRÍFUGO <i>LIMIT LOAD</i> - MOTOR AC	VENTILADOR <i>PLENUM FAN</i> - MOTOR EC
Painel Elétrico	R\$ 25.000,00	R\$ 10.000,00
Inversor de Frequência	R\$ 50.400,00	R\$ -
Dispositivos de Proteção	R\$ 10.800,00	R\$ 4.500,00
TOTAL	R\$ 86.200,00	R\$ 14.500,00

Tabela 6. Valor de Componentes Elétricos

Sendo assim, conforme tabela abaixo, se pode observar o custo total de implantação de cada tecnologia:

ITEM	VENTILADOR CENTRÍFUGO LIMIT LOAD - MOTOR AC	VENTILADOR <i>PLENUM FAN</i> - MOTOR EC
AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	R\$95.786,87	R\$160.000,00
CUSTOS DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA	R\$86.200,00	R\$14.500,00
TOTAL	R\$181.986,87	R\$174.500,00

Tabela 7. Valor Total de Aquisição e Instalação

Para casos de instalações existentes, foi levantado o custo médio para realizar o *retrofit* (substituição de ventiladores antigos por novos de tecnologia EC)

ITEM	VALOR MÉDIO DE EXECUÇÃO
<i>Retrofit</i> Ventiladores Centrífugos AC por <i>Plenum Fan</i> EC	R\$ 60.000,00

Tabela 8. Valor para *Retrofit* de Equipamentos Existentes

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados encontrados, foi possível observar que:

- Ventiladores *plenum fan* com motores EC são mais eficientes e demandam menor carga elétrica quando operam em pressões e vazões mais baixas, como as observadas nos pontos 1 e 2, e que à medida que estes dois fatores vão aumentando, há uma equiparação e até uma inversão da eficiência destes ventiladores quando comparados com ventiladores centrífugos convencionais. Além disso, em alguns casos de alta pressão, a nova tecnologia sequer consegue atender os pontos de seleção, como no caso do ponto 5.
- Ventiladores *plenum fan* com motores EC demandam manutenção muito inferior àquela observada nos ventiladores de polia e correia, chegando a uma diferença de até 91,5% no tempo gasto em manutenção no caso estudado, o que confere a estes equipamentos robustez e confiabilidade muito maiores, o que em indústrias, *data centers*, entre outras, é um fator de extrema importância.
- O custo de aquisição dos ventiladores *plenum fan* é superior ao de ventiladores centrífugos (em média 60% nos casos aqui estudados), porém este custo praticamente se equipara quando consideramos a economia que sem tem na montagem dos painéis elétricos de alimentação, uma vez que estes equipamentos não necessitam de inversores de frequência e dispositivos de proteção, que oneram bastante as instalações. Considerando os custos de instalação, o

ventilador *plenum fan* chegou neste estudo a ser até 4% mais barato para sua implantação, o que em termos práticos significa que as duas tecnologias se equivalem em termos de custos iniciais.

5 | CONCLUSÃO

É possível concluir ao final deste artigo que não é correto dizer que os ventiladores *plenum fan* EC são mais eficientes e sempre são as melhores opções para aplicações de climatização. Isso porque há uma variação muito grande de resultado conforme cada ponto de operação em que cada ventilador vai trabalhar. Mas é possível observar que é uma tecnologia superior e que em processos de alta criticidade conferem ao sistema uma confiabilidade muito maior aos sistemas. Quanto ao custo, mesmo que os ventiladores EC tenham um custo inicial de aquisição maior, este custo é compensado pela economia que se tem na montagem dos painéis elétricos.

A conclusão final é que as duas tecnologias são eficazes e importantes para o mercado de climatização, e que a escolha entre cada uma deve sempre ser feita estudando caso a caso e analisando os prós e contras de cada um para determinada aplicação. Mas é importante ressaltar que a solução de ventiladores com motores EC se mostra como uma tecnologia com potencial de oferecer boa eficiência, robustez e confiabilidade por um custo que não destoa significativamente quando considerado a instalação como um todo e que, portanto, em determinadas aplicações críticas, pode ser a mais indicada.

REFERÊNCIAS

COSTA, ENNIO, CRUZ. Ventilação. 1º Edição. São Paulo: Blucher, 2005.

CREDER, H. Instalações de Ar Condicionado. 6º Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, 2004.

FEG.UNESP, 2021. Classificação dos Ventiladores. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/nestorproenzaperez/sfm-2014-aula-23.pdf/>. Acessado em 01/07/2021.

MACINTYRE, A. J. Ventilação Industrial e Controle da Poluição. 2º Edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1990.

MOTOR POLIA E CORREIA X TECNOLOGIA EC MOTOR ACOPLADO. Artigo técnico. Disponível em: https://www.ebmpapst.com.br/media/content/technical_support/technical_data/BT_Ed16_Polia_e_Correia_x_Tecnologia_EC~1.pdf. Acessado em 13/09/2021.

OTAM, 2021. Dados técnicos equipamento Ventiladores Centrífugos Industriais. Disponível em: <https://solerpalau.com.br/>. Acessado em 10/07/2021.

VENTILADORES ELETRÔNICOS E OS PRINCIPAIS BENEFÍCIOS EM SISTEMAS DE AR
CONDICIONADO E REFRIGERAÇÃO. Disponível em: [https://www.abrava.com.br/palestradnpc18/
c5brunoziehlabegg.pdf.pdf](https://www.abrava.com.br/palestradnpc18/c5brunoziehlabegg.pdf.pdf). Acessado em 13/09/2021.

ZIEHL-ABEGG, 2021. Dados técnicos equipamento Ventiladores EC. Disponível em: [https://www.ziehl-
abegg.com/pt-br](https://www.ziehl-abegg.com/pt-br). Acessado em 05/07/2021.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA 29

Análise estatística 124, 125, 131, 135

C

Calha 7, 15

Cinemática 42, 43, 90, 91, 92

Circuito integrado 138, 142, 143, 144, 145, 146, 147

Confiabilidade 14, 25, 28, 40, 41

Criticidade 1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 66

D

Desenho 151

E

Estrutura 7, 23, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 150

F

Ferramenta da qualidade 22

Floating Production Storage and Offloading - FPSO 111, 112

I

Impulsor 91, 92, 93, 94, 95

Indústria têxtil 16

Interface gráfica 80

M

Manutenção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 52, 53, 54, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 112

Manutenção corretiva 1, 3, 4, 5, 8, 11, 18, 19, 39

Manutenção preventiva 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 18, 19, 38, 61

Mecanismo 10, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 71, 74, 75, 76, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 152

Mecanismo de quatro barras 80

Medição fiscal 110, 111, 112, 113, 114, 118

Monitoramento da integridade estrutural 125

O

Ondas de Lamb 124, 125, 126, 129

P

Petróleo 43, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 121, 123

Placa eletrônica 61

Plano de manutenção 4, 5, 7, 12, 13, 22, 28, 30, 35, 37, 40, 54, 63, 64

Pré-resfriamento 98

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 29, 33, 40, 41, 99, 101, 122

R

Rendimento térmico 98

Requisitos metrológicos 110, 111

T

Tempo Médio de Reparo - MTTR 17, 24

Tempo Médio entre Falhas - MTBF 17, 22

Triceratops 68, 69, 77

U

Ultracongelamento 98, 102, 107, 108

V

Ventilador 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING


Ano 2022