FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOUGLAS BARROS VELOZO

FELIPE ANACLETO DOS SANTOS

MAICON MIRANDA ROCHA

PATRICK SALES DE CARVALHO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO E ECONÔMICO PARA ESPECIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM MICROAEROGERADOR

VOLTA REDONDA

2020

DOUGLAS BARROS VELOZO

FELIPE ANACLETO DOS SANTOS

MAICON MIRANDA ROCHA

PATRICK SALES DE CARVALHO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO E ECONÔMICO PARA ESPECIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM MICROAEROGERADOR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

VOLTA REDONDA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

V432e Velozo, Douglas Barros.
Estudo de viabilidade técnico e econômico para especificação e implementação de um microaerogerador. / Douglas Barros Velozo; Felipe Anacleto dos Santos; Maicon Miranda Rocha; Patrick Sales de Carvalho. – Volta Redonda: UniFOA, 2020.

146 p. Il

Orientador (a): prof. DSc. Alexandre Alvarenga Palmeira

Monografia (TCC) – UniFOA / Curso de Engenharia Mecânica, 2020.

1. Engenharia mecânica - TCC. 2. Aerogerador – desgaste – especificação - avaliação. I. Palmeira, Alexandre Alvarenga. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD 620.1

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ENGENHARIA MECÂNICA

DOUGLAS BARROS VELOZO

FELIPE ANACLETO DOS SANTOS

MAICON MIRANDA ROCHA

PATRICK SALES DE CARVALHO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO E ECONÔMICO PARA ESPECIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM MICROAEROGERADOR

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE "ENGENHEIRO MECÂNICO"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE ENGENHARIA MECÂNICA

_____

Prof. MSc. Diniz Felix dos Santos
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. DSc. ALEXANDRE ALVARENGA PALMEIRA
1º Membro da banca/Orientador/UniFOA

_____

Prof. DSc. ALEXANDRE FERNANDES HABIBE
2º Membro da banca/UniFOA

_____

Prof. MSc. RUI AURÉLIO BARBOSA
3º Membro da banca/UniFOA

Junho de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho à Deus, que nos criou e foi criativo nessa tarefa. Seu fôlego de vida em nós nos foi sustento e nos deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades. Dedicamos a todos os professores do curso, em especial ao nosso orientador Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira, aos nossos familiares, amigos e todos aqueles que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos à Deus pelas nossas vidas, e por nos ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo dessa caminhada.

Agradecemos às nossas famílias por todo suporte e confiança que nos foi dado.

Agradecemos ao corpo docente e funcionários do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA que nos proveram todo suporte para atingirmos nosso objetivo, mas em especial ao Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira pela sua orientação precisa e dedicação que foram fundamentais para realização deste trabalho.

Por fim, agradecemos aos nossos amigos pelo apoio em todos os momentos, pelos conselhos e incentivos que nos deram.

VELOZO, D. B.; DOS SANTOS, F. A.; ROCHA, M. M.; CARVALHO, P. S. **Estudo de Viabilidade Técnico e Econômico para Especificação e Implementação de um Microaerogerador.** 2020. Monografia (ENGENHARIA MECÂNICA) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica para a especificação e implementação de um microaerogerador, onde será executado a partir de um projeto original embasado no modelo do Instituto Mauá de Tecnologia, aplicando algumas modificações, como por exemplo, a troca do material de constituição original, que era o aço ABNT 1020, pelo aço inoxidável AISI 304 e um outro modelo comercial de 1600 watts, onde será verificado o desgaste de seus respectivos componentes e um estudo visando a alimentação de um residência de pequeno porte. No que tange a parte prática do projeto, após a seleção das turbinas e modificação no projeto, elas foram submetidas em ambientes distintos, sendo a primeira alocada em um ambiente real com exposição salina e a segunda submetida em uma análise numa câmara Salt Spray. Após a desmontagem, foram avaliados os desgastes dos componentes mecânicos através de testes laboratoriais como a microscopia eletrônica de varredura. Em seguida, na turbina modificada, foi realizado um estudo de geração de energia e um estudo econômico objetivando alimentar uma pequena residência. A partir dos resultados obtidos, pode-se visualizar que ambas as turbinas apresentaram oxidação e, que, para atingir o objetivo da alimentação residencial se fez necessário a utilização de 3 turbinas. Na avaliação econômica do projeto, foram utilizadas diferentes metodologias de verificação de viabilidade, como a definição da Taxa Interna de Retorno, que se mostrou atrativa, em torno de 11,94%, bem como um payback de aproximadamente 4 anos. Para uma melhor durabilidade em relação ao desgaste é recomendável a utilização de um material mais nobre visando o aumento da vida útil do projeto.

Palavras-chave: Aerogerador; Desgaste; Especificação; Avaliação.

VELOZO, D. B.; DOS SANTOS, F. A.; ROCHA, M. M.; CARVALHO, P. S. **Technical and Economic Feasibility Analysis for the Specification and Implementation of a wind turbine.** 2020. Monograph (ENGENHARIA MECÂNICA) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

ABSTRACT

The goal of this paper is to carry out a technical and economic feasibility analysis, regarding the specification of micro wind turbines, based on an original project using the Instituto Mauá de Tecnologia model with a few modifications, such as replacing the original ABNT 1020 steel with AISI 304 stainless steel and the use of a different 1600 watts model, its components wear resistance will be checked along with a study regarding its ability to power a small residence. For the practical work for this project, after selecting the turbines and modifying the model, the turbines were submitted to different environments, the first one was placed in an environment with salt mist exposure and the second one was submitted to a Salt Spray Test Chamber. After dismantle, wear of each component was evaluated using scanning electron microscopy. Then, using the modified turbine, a study regarding its ability to power a small residence and a study evaluating its economic impacts were carried out. The results showed oxidation in both turbines and that three turbines are required in order to power a small residence. In the economic evaluation of the project, a number of methods to determine feasibility were used, such as internal rate of return, with an appealing 11,94% result, as well as a 4 year payback, approximately. For higher wear resistance, it is recommended to use turbines with nobler materials in order to achieve a higher lifespan of the project.

Keywords: Wind turbine, wear, specification, evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuições de ventos 20
Figura 2: Predominância de ventos no Estado do Rio de Janeiro 21
Figura 3: Gradiente de velocidade dos ventos diurnos e sazonais do estado do Rio de Janeiro 22
Figura 4: Aplicações dos aerogeradores nos dias atuais 23
Figura 5: Turbinas com eixos horizontal (a e b) e com eixo vertical (c) 24
Figura 6: Modelos de Turbinas verticais 25
Figura 7: Incidência do Vento em uma turbina Upwind e Downwind 26
Figura 8: Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal 27
Figura 9: Componentes da nacele de uma turbina convencional 28
Figura 10: Cubo para conexão de Pás 29
Figura 11: Esquema de um gerador eólico 31
Figura 12: Servo motor para controle de posição da nacele. 32
Figura 13: Estruturas das torres de geradores eólicos 34
Figura 14: Princípio das forças aerodinâmicas da pá de uma turbina 35
Figura 15: Vista frontal para observação do corte de seção transversal 36
Figura 16: Diagrama de velocidades e forças atuantes nas pás da turbina 37
Figura 17: Fluxo separado (estol) em volta do perfil 38
Figura 18: Fluxo aderente ao perfil 39
Figura 19: Desenvolvimento das pás do rotor 41
Figura 20: Mancal de disco rígido 42
Figura 21: Placa do cubo do rotor 42
Figura 22: Acoplamento do mancal 43
Figura 23: Cubo do rotor finalizado - sem o spinner 43
Figura 24: Mancal de bicicleta 43
Figura 25: Eixo do cubo já usinado no mancal 44
Figura 26: Spinner 44
Figura 27: Protótipo 1 construído em Aço ABNT 1020 com capa de madeira 45
Figura 28: Haste em aço 45
Figura 29: Circuito elétrico 47
Figura 30: Motor gerador CC 48
Figura 31: Diodo do projeto 49

Figura 32: Baterias do projeto 49
Figura 33: Tipos de chaves 50
Figura 34: Circuito de iluminação 51
Figura 35: Montagem final do projeto 53
Figura 36: Painel elétrico do projeto 53
Figura 37: Diagrama de Schaeffler para aços inoxidáveis 59
Figura 38: Foto de corrosão em frestas nas regiões cobertas pelas arruelas imersas em água do mar 63
Figura 39: Ilustração esquemática do mecanismo de corrosão em frestas entre duas chapas rebitadas 64
Figura 40: (a) Pites em uma chapa de aço inoxidável 304 pela ação de uma solução de cloreto (Fontana 1986) – (b) Formação de anodos e catodos, devido a diferença de concentração de oxigênio.....65
Figura 41: Curva de polarização anódica para um 18Cr-V em solução de H2SO4 a 31°C mostrando a influência da adição de V. A área hachurada indica o efeito danoso do V sobre o Ep. Curvas de AISI 444 e 316 são mostradas para comparação 66
Figura 42: Modelo de precipitação de carbonetos de cromo no contorno do grão de aço inoxidável. (b) – Micrografia, ataque intergranular em sulfato férrico ácido sulfúrico, liga austenítica sensitizada por um longo tempo de exposição causando destaques.....68
Figura 43: Micrografias de desgaste gradual 70
Figura 44: Formas de corrosão em aços ao carbono - (a) Uniforme; (b) Em placas; (c) Alveolar; (d) Pite; (e) Intergranular; (f) Transgranular 72
Figura 45: Sistema On-Grid de uma residência 82
Figura 46: Componentes de um aerogerador comercial 89
Figura 47: Projeto Aerogerador IMT 90
Figura 48: Componentes aerogerador Instituto Mauá 91
Figura 49: Componentes do aerogerador modificado 91
Figura 50: Motor Dínamo.....93
Figura 51: Localização da torre meteorológicas da Usina Nuclear de Angra dos Reis. 95
Figura 52: Gradiente de Velocidade dos Ventos sobre Angra dos Reis.....95
Figura 53: Esquema geral de um vento particular terra-mar e vice-versa (brisas) ...96

Figura 54: Velocidade Média dos Ventos Anual de Angra dos Reis, ...97
Figura 55: Componentes do aerogerador comercial 99
Figura 56: Aerogerador instalado em Angras dos Reis.....100
Figura 57: Desgaste dos parafusos da turbina comercial 100
Figura 58: Desgaste do rolamento da turbina comercial.....101
Figura 59: Desgaste das arruelas de fixação da turbina comercial.....101
Figura 60: Desgaste da ponta de eixo da turbina comercial 101
Figura 61: Máquina de teste por névoa salina.....102
Figura 62: Câmara de realização do Ensaio 104
Figura 63: Placa de Fixação da Pá 104
Figura 64: Mancal do rotor 105
Figura 65: Rolamento do mancal 105
Figura 66: Representação esquemática dos componentes de um microscópio eletrônico de varredura. 110
Figura 67: Equipamento HITACHI TM3000.....113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custos componentes Aerogerador 46
Tabela 2: Condição das chaves de acionamento do circuito 48
Tabela 3: Custo médio dos componentes 52
Tabela 4: Faixa de composição química e propriedades mecânicas de alguns aços inoxidáveis, segundo AISI (% em massa) 55
Tabela 5: Composição química do aço inoxidável AISI 304 60
Tabela 6: Propriedade mecânicas aço inoxidável AISI 304 60
Tabela 7: Principais íons salinos da água do mar 76
Tabela 8: Classificação de águas quanto à salinidade 76
Tabela 9: Pesagem dos componentes do aerogerador projetado antes do ensaio Salt Spray 103
Tabela 10: Soluções químicas para aços 107
Tabela 11: Pesagem dos componentes do aerogerador projetado depois do ensaio na câmara Salt Spray 108
Tabela 12: Classificação de corrosividade 108
Tabela 13: Valores de corrosividade 109
Tabela 14: Soluções usuais para exame macrográfico. 112
Tabela 15: Quadro de cargas 114
Tabela 16: Relação de custos dos componentes do Gerador eólico 116
Tabela 17: Custo de aquisição dos componentes eletrônicos do aerogerador 117
Tabela 18: Tabela de custo 117
Tabela 19: Considerações para definição do VPL e da TIR 117
Tabela 20: Valor Presente 118
Tabela 21: Valores de economia 118
Tabela 22: Resultados VPL e TIR 118

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação de Tensão 51
Equação 2: Equação de corrente 51
Equação 3: Equação de Potência 51
Equação 4: Equação da corrente fornecida pela fonte 52
Equação 5: Equação de potência máxima 52
Equação 6: Reação de uma corrosão em frestas 63
Equação 7: Reação de uma corrosão em frestas 64
Equação 8: Equação VPL 83
Equação 9: Equação TIR 84
Equação 10: Quantidade de energia do vento 85
Equação 11: Fluxo de massa de ar 85
Equação 12: Potência Mecânica no vento 85
Equação 13: Perdas de velocidade do vento na turbina. 86
Equação 14: Potência mecânica teórica da turbina 86
Equação 15: Fluxo de massa de ar nas pás 87
Equação 16: Velocidade de vento na pá 87
Equação 17: Potência mecânica teórica 87
Equação 18: Coeficiente de Potência 87
Equação 19: Coeficiente de Potência corrigido 87
Equação 20: Equação Taxa de Corrosão Uniforme 108
Equação 21: Potência do vento 115
Equação 22: Potência do vento 115

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão
AISI – American Iron and Steel Institute
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTM – American Society for Testing and Materials
BRS – Bactérias Redutoras de Sulfato
BT1 – Bateria 1
C – Carbono
Ca – Cálcio
CC – Corrente Contínua
CCC – Cúbica de Corpo Centrado
CFC – Cúbica de Face Centrada
CH – Chave
CMI – Corrosão Microbiologicamente Induzida
CP – Corpo de Prova
Cr – Cromo
CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CST – Desgaste gradual Sob Tensão
D1 - Diodo
DIN – Deutsches Institut für Normung
EDS – Espectroscopia por Energia Dispersiva
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EPS – Erosão por Partículas Sólidas
GWEC – Global Wind Energy Council
HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine
IMT – Instituto Mauá de Tecnologia
ISO – International Organization for Standardization
JIS – Japanese Industrial Standards
JP – Jumpers
K – Potássio
Km – Quilômetros
KW - Quilowatt

LED – Light-emitting diode

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

Mg - Magnésio

Mo - Molibdênio

Mpa – Mega Pascal

MW - Megawatt

N_2 – Nitrogênio

NACE – National Association of Corrosion Engineers

NaCl – Cloreto de Sódio

NaOH – Hidróxido de Sódio

Ni - Níquel

O_2 – Oxigênio

P – Fósforo

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PUC – Pontifica Universidade Católica

RPM – Rotações por minuto

S - Enxofre

SAE – Society of Automotive Engineers

Si - Sílicio

SO_4 – Sulfato

TCC – Tetragonal de Corpo Centrado

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UNS – Unified Numbering System

VAWT – Vertical Axis Wind Turbine

VPL – Valor Presente Líquido

α – Alfa

β – Beta

ρ – Rô

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18

1.1. OBJETIVOS 18
1.1.1. Objetivo Geral 18
1.2. **JUSTIFICATIVA** 19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20

2.1. ENERGIA EÓLICA 20
2.1.1. Vento no Brasil 20
2.1.2. Ventos no Estado do Rio de Janeiro 21
2.2. TURBINA EÓLICA 22
2.3. TIPOS DE AEROGERADORES 24
2.3.1. Aerogeradores com eixo vertical 24
2.3.2. Aerogeradores com eixo horizontal 25
2.4. COMPONENTES DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL 27
2.5. INFORMAÇÕES AERODINÂMICAS DA PÁ 35
2.6. CONTROLE AERODINÂMICO DE POTÊNCIA 37
2.6.1. Controle de Estol 38
2.6.2. Controle de passo 39
2.7. TURBINAS EÓLICAS DE PEQUENO PORTE 40
2.8. TURBINA LABFAB 40
2.8.1. Pás do rotor 41
2.8.2. Cubo do Rotor 41
2.8.3. Haste de Fixação 44
2.8.4. Componentes elétricos 47
2.8.5. Montagem 52
2.9. AÇOS INOXIDÁVEIS 54
2.9.1. Classificação dos aços inoxidáveis 54
2.9.2. Aço Inoxidável AISI 304 60
2.10. CORROSÃO 61
2.10.1. Formas de corrosão 62
2.10.2. Meios Corrosivos 73
2.11. CÂMARA SALT SPRAY 80
2.12. SISTEMA ON-GRID 81
2.13. ESTUDOS DE VIABILIDADE 82
2.13.1. Método do Valor Presente Líquido (VPL) 82
2.13.2. Método da Taxa Interna de Retorno (TIR) 83
2.14. PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DO INVESTIMENTO 85
2.15. POTÊNCIA TEÓRICA 85
2.15.1. Rendimento de Betz 88
3. **METODOLOGIA** 89

3.1. SELEÇÃO DA TURBINA 89
3.2. TURBINA PROJETADA 90
3.2.1. Modificações no projeto 92

3.3. LOCAL DE INSTALAÇÃO 93
3.3.1. Característica do local selecionado 94
3.4. EXPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA A AMBIENTES SALINOS 97
3.4.1. Alocação da Turbina Comercial 98
3.4.2. Desmontagem da turbina comercial 100
3.4.3. Alocação da Turbina Projetada em Câmara Salt Spray 101
3.4.4. Desmontagem da turbina Projetada 104
4. **RESULTADOS E DISCUSSÕES** 106
4.1. ANÁLISE DE CORROSÃO 106
4.1.1. Perda de Massa 106
4.1.2. Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV 109
4.2. GERAÇÃO DE ENERGIA 113
4.2.1. Levantamento de carga 113
4.2.2. Cálculo teórico de potência 115
4.3. VIABILIDADE ECONÔMICA 116
4.3.1. Custo do Projeto 117
4.3.2. Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno 117
4.3.3. Tempo de Retorno - Payback 119
5. CONCLUSÃO 120
6. SUGESTÕES FUTURAS 120
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 121
Anexos: 128

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o aumento das buscas pelas fontes renováveis de energia tem se intensificado. Isso ocorre por conta de uma crise ambiental que o mundo está vivendo que está obrigando uma mudança de postura de todos os países, que buscam meios para diminuir a sua dependência pelas fontes energéticas minerais e fósseis (*GWEC*, 2018).

A energia proveniente dos ventos vem contribuindo bastante para a mudança energética que vem ocorrendo no mundo, sendo responsável pela maior participação das fontes de energias renováveis (*GWEC*, 2018).

As expectativas apontam para um severo aumento da abrangência geográfica da energia eólica a outros mercados, como a América do Norte e Ásia, por diversos motivos, tais como avanços tecnológicos e regulatórios que estão tornando a esse tipo de energia mais viável e competitiva (*GWEC*, 2018).

O Brasil possui uma enorme faixa litorânea, uma exposição regular a ventos, o que favorece a produção de energia, além de ser um país com baixíssima possibilidade de ocorrer furacões, o que pode elevar muito o custo do projeto.

O presente trabalho tem por objetivo a realização de um estudo de viabilidade técnico e econômico para especificação e implementação de um microaerogerador, a partir de uma análise em uma turbina comercial submetida a um ambiente salino e uma turbina adaptada aplicada em uma câmara *Salt Spray*, avaliando os desgastes obtidos em seus respectivos componentes, seguido por uma análise de geração elétrica visando a alimentação de uma residência de pequeno porte e, terminando por uma análise econômica da implementação do aerogerador.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é a realização de um estudo de viabilidade técnico e econômico para especificação e implementação de um microaerogerador, sendo um modelo comercial comprado pelo grupo e outro modelo projetado, a partir de um

projeto original do Instituto Mauá de Tecnologia, com algumas modificações estruturais.

1.1.2. Objetivos Específicos

Por meio deste trabalho será verificado alguns objetivos específicos, como a avaliação de desgaste dos componentes da turbina comercial quando instalada em um ambiente real. Em seguida será realizada uma adaptação do projeto do Instituto Mauá de Tecnologia com a posterior verificação de desgaste destes componentes em uma câmara *Salt Spray*. Também será avaliado a geração de energia elétrica para fornecimento de uma residência de pequeno porte e por fim será realizada um estudo de viabilidade técnico e econômico da implementação da turbina.

1.2. JUSTIFICATIVA

Este trabalho possui como justificativa o estudo de meios alternativos de geração energia numa região com incidência de ventos constantes. Faz parte deste estudo verificar como se comportaria uma turbina comercial quando exposta em um ambiente de características agressivas e um estudo do comportamento dos componentes de um uma turbina adaptada quando submetida ao teste numa câmara *Salt Spray.*

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia Eólica

A energia eólica no mundo representa grande parte do desenvolvimento da geração de energia elétrica através das fontes renováveis (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, 2015). Os maiores líderes mundiais em geração de energia eólica são a China, que em 2018 possuía 35% do total gerado no mundo, seguido pelos Estados Unidos, Alemanha e Índia. O Brasil completa o *ranking* top 5 dos países com maior capacidade de geração.

Esse tipo de energia tem possuído um grande papel na transição energética global, sendo uma energia limpa, confiável e competitiva (*GWEC*, 2018).

2.1.1. Vento no Brasil

A distribuição dos ventos no Brasil é controlada pelos aspectos da circulação geral planetária da atmosfera próxima, conforme se apresenta na figura a seguir. Dentre esses aspectos, sobressaem os sistemas de alta pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Atlântico Norte e a faixa de baixas pressões da Depressão Equatorial (AMARANTE, 2001).

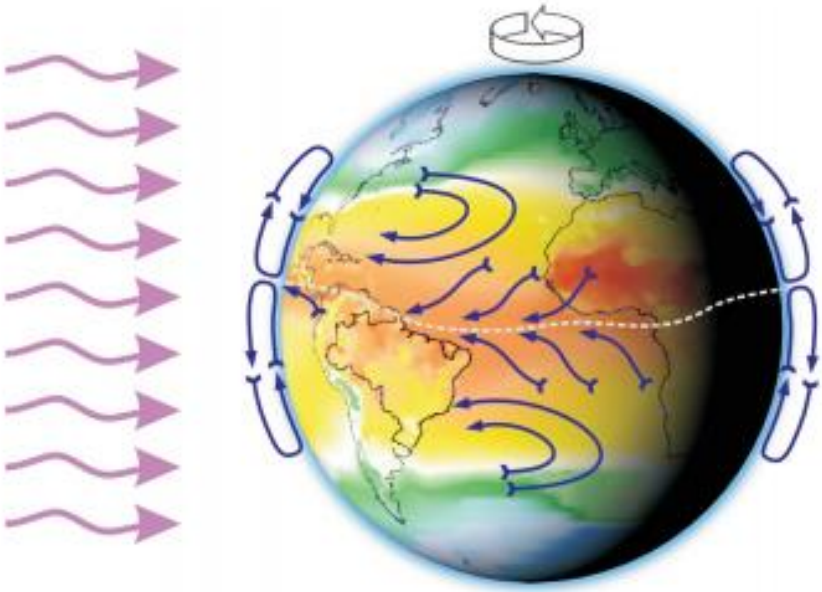


Figura 1: Distribuições de ventos

Fonte: AMARANTE, 2001

2.1.2. Ventos no Estado do Rio de Janeiro

A distribuição geral dos ventos que atua no Brasil e que influencia o Estado do Rio de Janeiro é controlada pelas grandes escalas atmosféricas: a escala sinótica e a circulação geral planetária (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002). Este perfil geral apresenta variações significativas na mesoescala e na microescala. Isso ocorre por conta da diversidade das características gerais do terreno, como a presença de obstáculos, geometria, cobertura vegetal, existência de grandes massas de água e a latitude. O estado está localizado em uma localização onde predomina a influência do centro de alta pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, o que acarreta uma elevada presença de ventos de quadrante leste e nordeste. A figura a seguir ilustra a predominância de ventos no Rio de Janeiro (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002).

Figura 2: Predominância de ventos no Estado do Rio de Janeiro
Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002

As regiões do estado que possuem ventos mais intensos se localizam na região norte, na região dos lagos e também na região serrana. Nas regiões de montanhas da região fluminense, os ventos mais intensos são encontrados nos cumes e cristas das elevações. O litoral Norte possui elevadas variações das médias diurnas anuais: no início da manhã, as velocidades atingem um mínimo, e conforme o dia se aquece, as velocidades tendem a atingir um valor máximo no período que abrange o final da

tarde e o início da noite e quando a noite cai, o continente vai progressivamente esfriando. A Região dos Lagos possui um regime diurno bem similar a região norte, se diferenciando pela intensidade, que é menor. Já na região serrana, o vento tende a apresentar maiores intensidades no período de início da manhã. A figura a seguir demonstra o gradiente de velocidade dos ventos no estado do Rio de Janeiro.

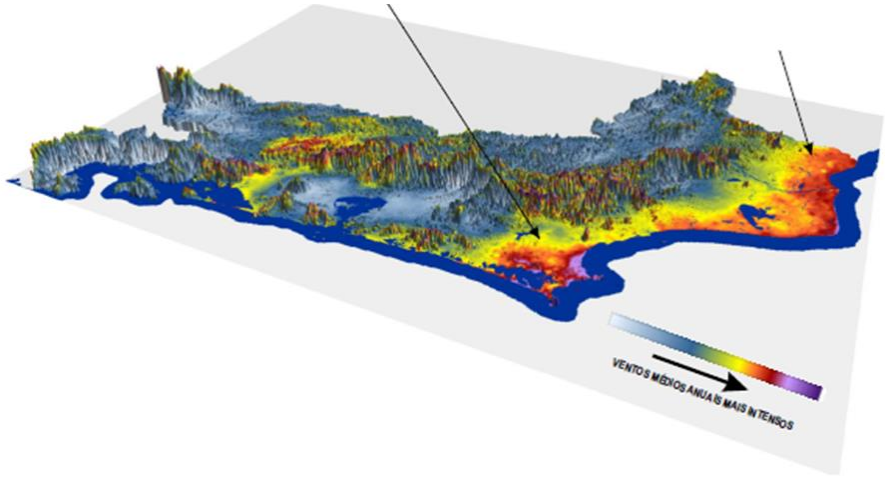


Figura 3: Gradiente de velocidade dos ventos diurnos e sazonais do estado do Rio de Janeiro

Fonte: Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002

Em resumo, os ventos que atuam sobre o Estado do Rio de Janeiro possuem alta sazonalidade, com a ocorrência de ventos mais intensos nos meses de primavera e mais calmos nos meses de final de outono e início de inverno (Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro, 2002).

2.2. Turbina Eólica

Uma turbina é por definição a máquina que extrai energia de um fluido (*FOX; MCDONALD*, 2001). As turbinas eólicas são equipamentos que extraem a energia cinética do vento por efeitos aerodinâmicos e as convertem em energia mecânica. Normalmente esses equipamentos são utilizados para a geração de energia elétrica por meio de acoplamento com geradores, mas também, podem ser utilizadas em outros sistemas mecânicos (*HANSEN*,2016).

Seu princípio de funcionamento é basicamente em função das forças de sustentação e arrasto. A força de sustentação é perpendicular às superfícies das pás, surgindo a partir do diferencial de pressão entre as superfícies, onde se cria uma área

de baixa pressão sobre o lado mais longo da superfície e, como está presa ao cubo do rotor, essa força irá causar rotação das pás. A força de arrasto age em direção paralela às superfícies das pás, sendo responsável pela resistência ao movimento e ocasionando a diminuição da velocidade das mesmas (*HANSEN*,2016).

Com o passar dos anos, as turbinas eólicas têm evoluído rapidamente as suas características quanto a eficiência, design e capacidade instalada. Mesmo tendo diversos caminhos seguidos em direção à forma ideal de uma turbina eólica, verificou-se uma certa padronização quanto a sua fabricação, tanto que a maioria das turbinas comerciais são de eixo horizontal e possuem três pás igualmente espaçadas ligadas a um gerador e uma caixa de engrenagens, dentro da nacele (PINTO, 2017).

Atualmente, as turbinas comerciais encontradas são as de eixo comercial contendo três pás uniformemente espaçadas, contendo na nacela o gerador e uma caixa de engrenagem (PINTO, 2017). Os futuros projetos de turbinas eólicas procuram diminuir o custo buscando simplificar conceitos, tais como: remoção da caixa multiplicadora, modificando os sistemas de orientação e utilizando potências modulares. (ALDABÓ, 2005)

Variados tipos de aerogeradores são usados em diversas aplicações e são encontrados em várias regiões. A figura a seguir ilustra algumas aplicações dos aerogeradores atualmente.

Figura 4: Aplicações dos aerogeradores nos dias atuais

Fonte: DALMAZ, 2008.

2.3. Tipos de Aerogeradores

Uma das formas de se classificar as turbinas eólicas, segundo a ANEEL, é relacionado ao seu respectivo porte, podendo ser classificadas em três categorias, sendo elas, pequeno porte quando sua potência nominal é inferior a 500 *KW*, nominal ou médio porte quando varia entre 500 *KW* e 1 *MW* e grande porte quando a potência nominal é superior a 1 *MW*.(ANEEL, 2008).Outra forma de classificar as turbinas eólicas está relacionada a configuração do seu eixo de rotor. Basicamente temos dois tipos de turbinas: eixo horizontal (*horizontal axis wind turbine – HAWT*) e eixo vertical (*vertical axis wind turbine – VAWT*). A Figura 1 mostra os tipos de turbinas citados. (PINTO, 2017)

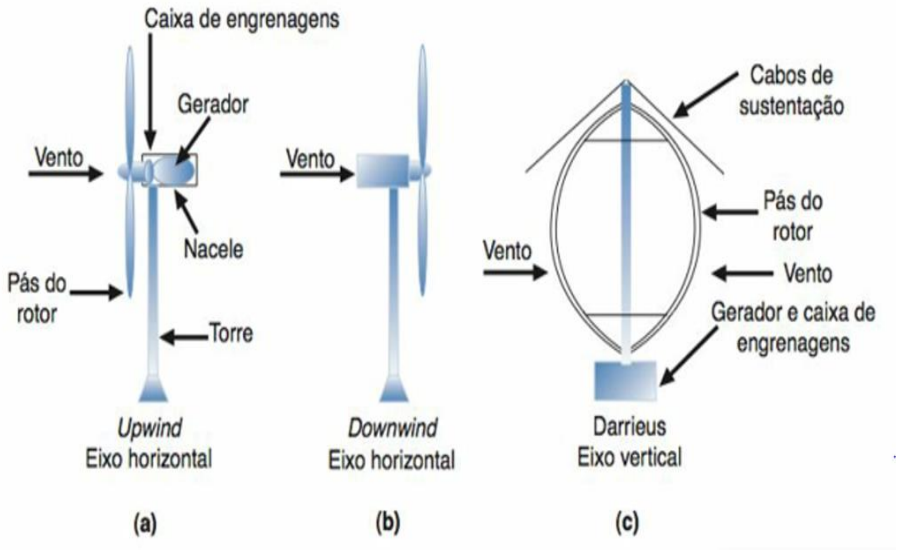


Figura 5: Turbinas com eixos horizontal (a e b) e com eixo vertical (c)
Fonte: PINTO, 2017

2.3.1. Aerogeradores com eixo vertical

As turbinas eólicas de eixo vertical são utilizadas na microgeração, pelo fato de obterem melhor desempenho em ventos turbulentos, além de sua emissão de ruídos serem inferior à turbina de eixo horizontal (Revista Técnico Científica CREA-PR, 2019). A grande vantagem das turbinas de eixo vertical é não necessitar de nenhum tipo de controle se manter na direção do vento e conseguir transportar todos os componentes contidos na nacele ao solo para realização de manutenções Em contrapartida, existem desvantagens, como o posicionamento ruim das pás, onde a velocidade do vento é menor, baixos valores de *tip speed ratio* (TSR), incapacidade

de controle da potência de saída por não possuir equipamento de passo e a incapacidade de partida própria. Seus principais modelos de rotores são *Darrieus*, *Savonius* e *Giromil* ou tipo H, que é uma variação do rotor de *Darrieus*. Os rotores do tipo *Darrieus* possuem suas pás em formato de uma curva catenária, o rotor *Savonius* possui sua pá em forma de S, admitindo elevado torque e baixa velocidade. Já o rotor tipo H possui suas pás retas e conectadas ao eixo do motor através de suportes. A figura 2 ilustra os modelos de rotores do uma turbina com eixo vertical. (PINTO, 2017)

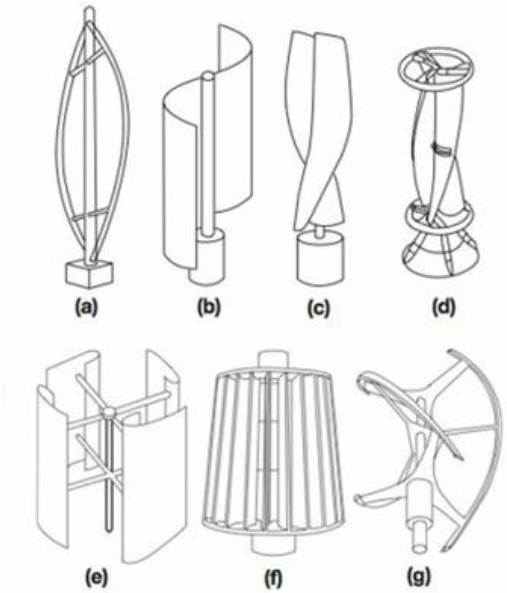


Figura 6: Modelos de Turbinas verticais

Fonte: PINTO,2017

Legenda: (a) *Darrieus*; (b) *Savonius*; (c) *Solarwind*; (d) Helicoidal; (e) *Noguchi*; (f) *Maglev* e (g) *Cochrane*.

2.3.2. Aerogeradores com eixo horizontal

Esse design com o eixo horizontal, princípio dominante na tecnologia eólica utilizada atualmente, se baseia praticamente nos conceitos de fabricação das pás, que têm como principais características possuir um bom desenvolvimento nos projetos das pás, o controle da velocidade rotacional através da regulagem do ângulo das pás e a evolução dos perfis aerodinâmicos das hélices. (PINTO, 2017)

Esse modelo de aerogerador possui como vantagem o acesso a velocidades mais elevadas em virtude da altura da torre de sustentação, permite um melhor

controle através do ajuste do ângulo de passo e alta eficiência, pois as pás se encontram posicionadas perpendicularmente ao vento. (PINTO, 2017)

As desvantagens da utilização desse tipo de turbina se dão desde a concepção da estrutura da torre de sustentação, passando pelo transporte dos equipamentos, complicações na instalação da torre, além de exigir um sistema de controle para efetuar os devidos ajustes nas pás em direção ao vento. (PINTO, 2017)

Quase todas as turbinas eólicas utilizadas atualmente são de eixo horizontal, porém, existe uma controvérsia de qual modelo é melhor: o modelo *downwind* e o modelo *upwind*. O primeiro é quando a incidência de vento acontece na parte traseira da área de atuação da turbina e a segunda quando o vento incide frontalmente na área de atuação. O modelo *downwind* é caracterizado pelo ajuste natural, ou seja, se orienta através da direção do vento. Porém, possui o problema relacionado aos efeitos de sombra do vento por causa da torre, que faz com que a velocidade do vento reduza e ocorra flexão da pá, podendo ocasionar problema de fadiga e elevando os ruídos da pá, havendo diminuição da eficiência. O modelo *upwind* possui como desvantagem a necessidade da adoção de um sistema de ajuste complexo para manter as pás na direção do vento. Todavia, esse modelo opera com maior suavidade, além de ser o modelo da maioria das turbinas atuais. A figura 3 mostra a configuração desses dois modelos. (PINTO, 2017)

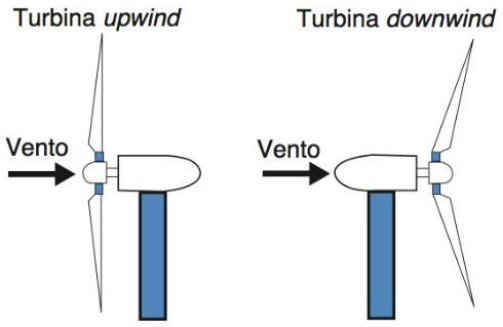


Figura 7: Incidência do Vento em uma turbina *Upwind* e *Downwind*

Fonte: PINTO, 2017.

2.4. Componentes de uma turbina eólica de Eixo Horizontal

Neste tópico iremos apresentar os componentes de um aerogerador de eixo horizontal. A figura 8 ilustra os componentes com suas respectivas tecnologias de controle.

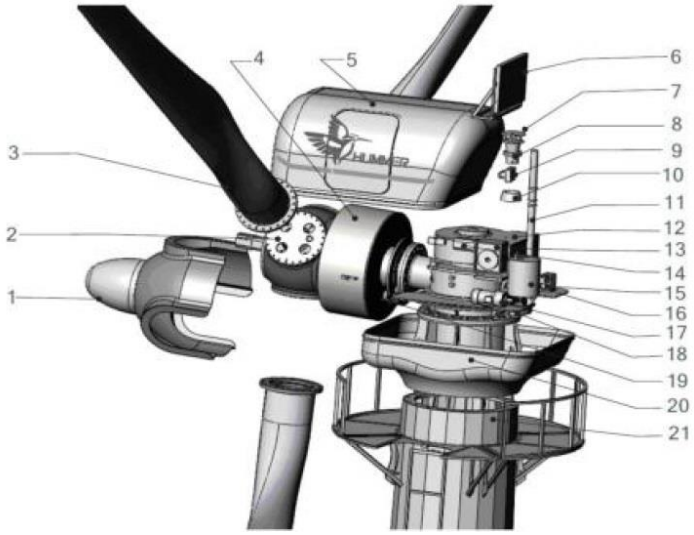


Figura 8: Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal

Fonte: DALMAZ, 2008

(Legenda: 1 - Cone do nariz, 2 - Cubo. 3 - Pá, 4 - Corpo do gerador, 5 - Proteção superior da nacele, 6 – Sistema radiador, 7 - Medidor de direção do vento/Anemômetro, 8 - Flange de fixação do medidor de direção do vento, 9 - Olhal, 10 - Anel de vedação, 11 - Barra de suporte do medidor de direção vento/anemômetro, 12 - Caixa de engrenagens do eixo (*yaw*), 13 - Redutor de Velocidade, 14 - Servo motor do eixo (*yaw*), 15 - Sistema de Freios, 16 - Tanque de água para resfriamento, 17 - Bomba para circulação da água para resfriamento, 18 – Calibrador do freio do eixo, 19 - Calibrador do freio das pás, 20 - Proteção inferior da nacele, 21 - Torre autoportante)

A seguir, apresentaremos os principais componentes de uma turbina eólica.

Nacele: Estrutura montada sobre a torre, onde se localiza o gerador, todo o sistema de controle e medição, motores de rotação do posicionamento das pás e, quando utilizada, a caixa de engrenagens. A figura 5 ilustra os componentes da nacele de uma turbina eólica convencional.

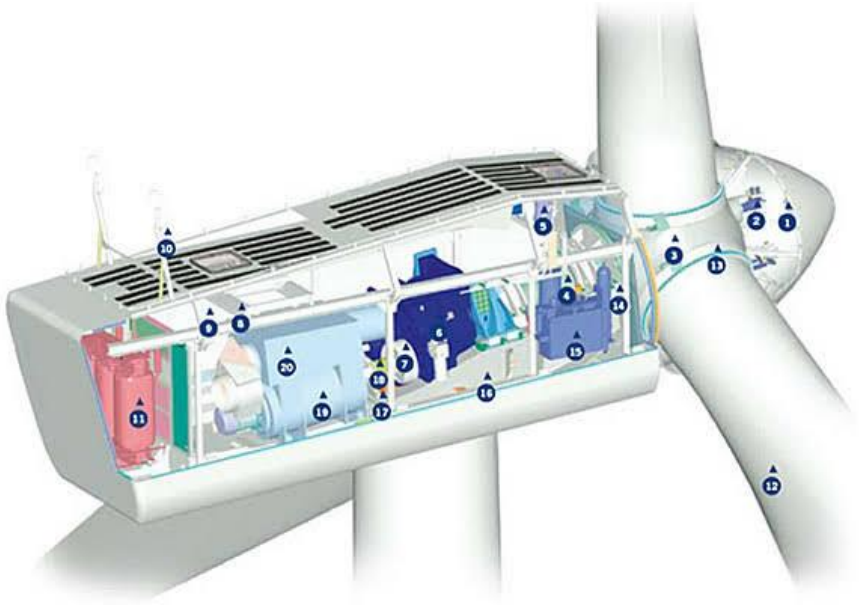


Figura 9: *Componentes da nacele de uma turbina convencional*

Fonte: DALMAZ, 2008.

Legenda: 1. Controlador do Cubo; 2. Controle *pitch*; 3. Fixação das pás no cubo; 4. Eixo principal; 5. Aquecedor de óleo; 6. Caixa multiplicadora; 7. Sistema de freios; 8. Plataforma de serviços; 9. Controladores e Inversores; 10. Sensores de direção e velocidade do vento; 11. Transformador de alta tensão; 12. Pás; 13. Rolamento das pás; 14. Sistema de trava do rotor; 15. Sistema hidráulico; 16. Plataforma da nacele; 17. Motores de posicionamento da nacele; 18. Luva de acoplamento; 19. Gerador; 20. Aquecimento de ar.

Pás, cubo e eixo: As pás são perfis aerodinâmicos que interagem com o vento transformando uma parte da energia cinética em trabalho mecânico. Seu processo de fabricação era realizado em alumínio, porém, com os avanços tecnológicos, começaram a ser fabricadas em fibra de vidro reforçadas com epóxi. Em turbinas que possuem sistemas de controle de velocidade por passo, existem rolamentos na base das pás que permitem sua rotação, ajustando o ângulo de ataque. (DALMAZ, 2008)

A fixação das pás ocorre por meio de flanges na estrutura metálica localizada na parte da frente da turbina, denominada cubo. Esse, por sua vez, é constituído em aço ou liga de alta resistência. Já o eixo, também fabricado de aço ou liga metálica, realiza a montagem do cubo no gerador, realizando a transferência de energia mecânica para a turbina. (DALMAZ, 2008)

Figura 10: Cubo para conexão de Pás

Fonte: *TAYLOR*, 2008.

Transmissão e Caixa Multiplicadora: Responsável para aumentar a rotação que vem do rotor e entregar ao gerador, é composta por eixos, mancais, acoplamentos, engrenagens de transmissão. (MARDUQUE, 2018)

O projeto tradicional de uma turbina eólica consiste em colocar a caixa de transmissão mecânica entre o rotor e o gerador, de forma a adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores convencionais (*TAYLOR*, 2008).

A velocidade angular dos rotores pode variar de 20 a 150 rpm por conta das restrições de velocidade nas pontas das pás (*tip speed*). Porém, os geradores podem trabalhar com velocidades bem elevadas, na faixa de 1200 a 1800 *rpm* sendo necessário acoplar um sistema multiplicador entre os eixos (*TAYLOR*, 2008).

Atualmente, houve o desenvolvimento de turbinas sem a instalação da caixa multiplicadora, fazendo com que os fabricantes abandonassem a forma convencional de construção dos aerogeradores e adotassem geradores multipolos de baixa velocidade e grandes dimensões ao invés das caixas de engrenagens com elevada relação de transmissão. (*TAYLOR*, 2008)

Ambos os projetos possuem vantagens e desvantagens que não serão discutidas no decorrer deste trabalho, e a decisão em usar o multiplicador ou fabricar

um aerogerador sem caixa de transmissão é, antes de tudo, uma questão de *Know-How* do fabricante. (*TAYLOR*, 2008)

Gerador: Existem dois tipos de geradores utilizados em turbinas eólicas, que são os geradores síncronos e assíncronos. Os geradores síncronos geralmente são utilizados juntamente com um conversor de frequência, permitindo assim, que ele trabalhe em velocidade variável, realizando o controle da potência. Esse tipo de gerador pode ser utilizado em qualquer tipo de aerogerador, do pequeno ao grande porte. Geradores síncronos não costumam ser ligados à rede elétrica, pois tendem a possuir frequência constante e ser utilizadas no carregamento de baterias (*TAYLOR*, 2008).

Segundo Dalmaz (2007), os rotores assíncronos não possuem a necessidade de utilizar conversores de frequência e aceitam rotores com velocidades variáveis. Dessa forma, as variações de velocidade do vento podem também ser convertidas em energia elétrica. (DALMAZ, 2008)

Os geradores assíncronos são conectados à rede elétrica. Modelos de grande porte, quando instalados em fazendas eólicas que tem o objetivo a geração de eletricidade na escala de *Megawatt*, utilizam os rotores assíncronos. (DALMAZ, 2008)

Aerogeradores de pequeno porte, que são utilizados em ambientes residenciais, utilizam alternadores pequenos e síncronos, gerando corrente alternada que é carregada em conjuntos de baterias e abastecer parcialmente residências onde forem instalados. Essa corrente elétrica gerada tende a ficar maior conforme aumenta a potência de rotação do eixo do gerador. A figura 11 demonstra um gerador utilizado em aerogeradores eólicos (DALMAZ, 2008).

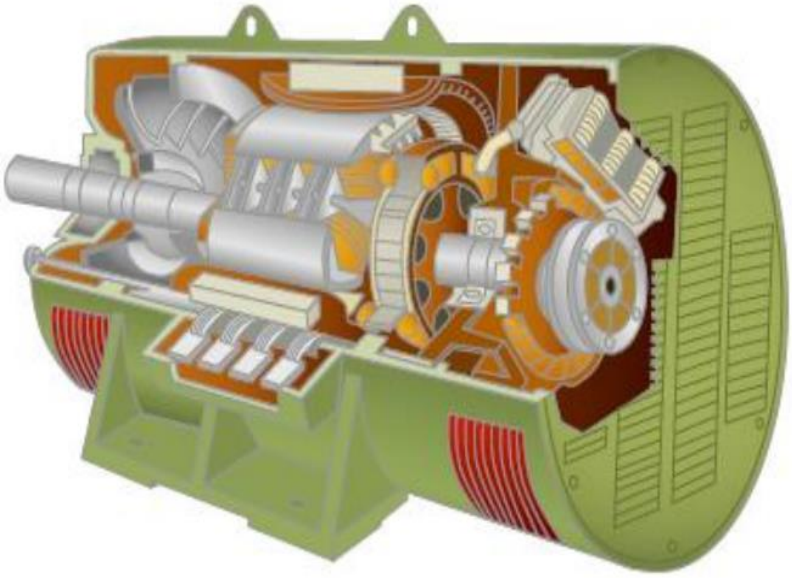


Figura 11: *Esquema de um gerador eólico*

Fonte: Adaptado da internet

Mecanismo de controle: Os sistemas de controle dos rotores funcionam como freios aerodinâmicos ou facilitadores para rotação com ventos de baixa velocidade. Nos aerogeradores de pequeno porte não são indicados a utilização de mecanismos de controle ativo por conta de sua complexidade e alto custo de instalação. Nesse tipo de turbina, é indicado o controle passivo, ou controle estol, que trabalha com pás fixas. O sistema estol, requer desenho minucioso das pás, perfil aerodinâmico específico e torção longitudinal da pá, pois para atingir a potência, é necessário cumprir esses fatores. Geralmente, as pás são executadas com ângulo de passo que provoca perdas aerodinâmicas e diminuição da velocidade quando em ventos de alta velocidade, onde acontece o freio aerodinâmico. Dessa maneira é mais difícil o arranque do sistema, assim como possuir boa rotação com ventos mais fracos (DALMAZ, 2008).

O mecanismo de controle ativo, também conhecido como controle de passo, permite ajustar a potência e as cargas de vento atuantes nas pás. Esses mecanismos consistem no domínio do ângulo de rotação das pás em relação ao seu eixo longitudinal, onde controles eletrônicos enviam sinais para o sistema, que ativa pequenos motores hidráulicos para fazer a rotação. Assim, é possível ajustar o ângulo de passo da pá e, consequentemente, o ângulo de ataque para ventos leves, nas velocidades de partida ou de arranque, ventos com velocidade calculada para o melhor rendimento e ventos elevados que poderão prejudicar o equipamento. O controle ativo pode funcionar também como freio aerodinâmico, quando em posição

que tende a elevar o arrasto e diminuir a sustentação, responsável pela rotação das pás. Esse tipo de controle permite grande eficiência na captação de energia eólica na faixa de velocidade entre a de partida e a nominal, onde as cargas de operação do aerogerador são parciais (DALMAZ, 2008).

A orientação do rotor perpendicularmente ao fluxo de vento é uma necessidade constante para captação dele. Existem em turbinas de grande porte, anemômetros, medidores de direção do vento e mecanismos de orientação direcional. Esses dispositivos trabalham em conjunto e em tempo real, executando ajustes para o resultado mais eficiente (DALMAZ, 2008).

Em pequenas turbinas, o sistema passivo de orientação é o mais utilizado devido ao baixo custo em relação ao controle de passo. A figura 12 ilustra um servo motor para controle da nacele (DALMAZ, 2008).

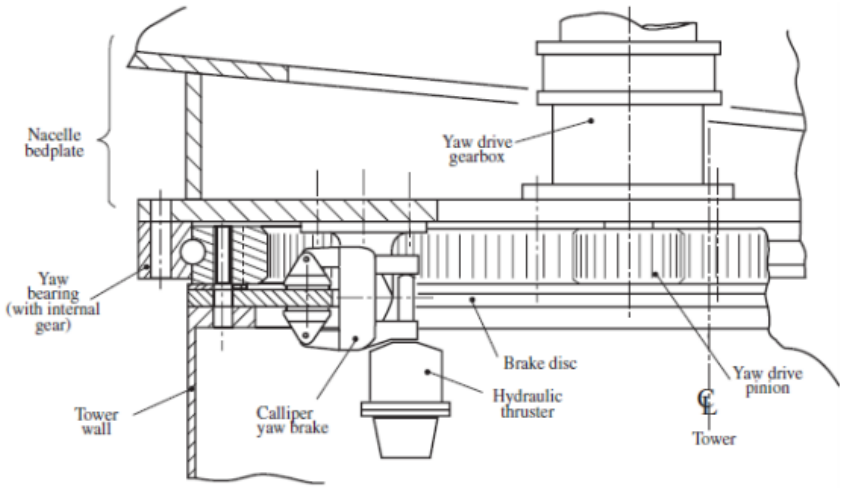


Figura 12: Servo motor para controle de posição da nacele.

Fonte: Adaptado da internet

Torre: A torre de um aerogerador sustenta todo o equipamento, é suscetível a diversas solicitações estruturais e pode ser um determinante da potência de energia extraída. Sua função é posicionar e sustentar o rotor a uma altura adequada. Geralmente é um item estrutural de elevado porte e tem uma elevada contribuição no custo total do projeto (DALMAZ, 2008).

De acordo com Dalmaz (2008), uma turbina com rotor de mais de 120 metros de diâmetro pode pesar até 100 toneladas. Já a nacele, que é a caixa contendo gerador, sistema multiplicador, equipamentos de orientação entre outros, pode ter massa de quase 300 toneladas. Somando esses pesos, a torre precisa suportar

cargas de compressão da ordem de 400 toneladas, fora seu peso próprio (DALMAZ, 2008).

As torres também devem ser projetadas visando suportar as cargas horizontais de vento, pois os aerogeradores estarão expostos por natureza a ventos durante toda sua vida útil (DALMAZ, 2008).

Porém, o maior problema de projeto em relação às torres é a determinação do modulo de frequência desse componente, pois vibrações causadas pela rotação das pás, ou cargas cíclicas, podem gerar efeito de ressonância, aumentando assim a amplitude de carregamento. Essa amplitude pode ocasionar fadiga no material da torre, reduzindo sua vida útil e, em casos extremos, ocasionando colapso da estrutura (DALMAZ, 2008).

Antigamente, as torres eram feitas de metal treliçado, porém, com o avanço da tecnologia e a utilização de turbinas cada vez mais potentes, passaram a sustentar muito mais peso. Existem condicionantes na montagem das torres que podem influenciar na viabilidade de sua construção. Um exemplo são os guindastes capazes de erguer tamanha estrutura e peso a mais de cem metros do chão. Dessa forma, para proporcionar maior mobilidade e segurança na sustentação da nacele em alturas cada vez maiores, atualmente são utilizadas torres tubulares ou de concreto, que em alguns casos são sustentadas por cabos tensores. (DUTRA, 2008)

As primeiras turbinas instaladas para gerar eletricidade no Brasil foram instaladas na ilha de Fernando de Noronha e utilizaram torres metálicas treliçadas, pois eram baratas, mas ocupavam grande espaço na base e o acesso à turbina era prejudicado. As torres tubulares de aço ou concreto são as que prevalecem nos equipamentos modernos. Geralmente são pintadas de branco em sua extensão prevalecendo, próximo a base, os tons de verde. A figura 13 demonstra a estrutura das torres dos geradores eólicos (DALMAZ, 2008).

Figura 13: Estruturas das torres de geradores eólicos
Fonte: DALMAZ, 2008.

Outros acessórios: Os condutores seguem o mesmo padrão dos sistemas de energia convencionais, de baixa tensão: consistem em fios ou cabos, de cobre com isolamento termoplástico (SÁ; LOPES, 2001).

As baterias funcionam como acumuladores de carga permitindo a utilização dos equipamentos em períodos com a ausência de ventos, ou quando a potência disponibilizada pelo gerador for inferior a demandada (SÁ; LOPES, 2001).

Os fusíveis são dispositivos de proteção contracorrentes anormais, como curto-circuito e sobrecarga. Os tipos mais comuns são o cartucho, o *NH* e o *Diazed*, sendo o de cartucho mais utilizado na aplicação eólica residencial (SÀ; LOPES, 2001).

O controlador de carga é o componente eletrônico responsável pelo controle do limite de consumo de energia das baterias, além da máxima carga que elas podem suportar. Sua função evitar que a bateria se descarregue por completo. Quando a bateria atinge 70% da carga total, o controlador desconecta as cargas ligadas e permite apenas a carga da bateria. Quando a bateria atinge com 90% da sua carga, as cargas são automaticamente conectadas ao sistema de fornecimento de energia (SÀ; LOPES, 2001).

O inversor é o dispositivo eletrônico que recebe na entrada corrente contínua e fornece, na saída, corrente alternada em 110 ou 220 V. Nesse processo, existe uma perda de, aproximadamente, 10% (SÀ; LOPES, 2001).

2.5. Informações aerodinâmicas da pá

A atuação dos ventos nas pás categorizam as turbinas de conforme as forças aerodinâmicas em: de arraste e de sustentação. Na Figura 14, estão ilustradas estas duas forças. A incidência de cada uma dessas forças na operação de cada tipo de turbina é caracterizada pelos seus aspectos construtivos (ROCHA, 2008).

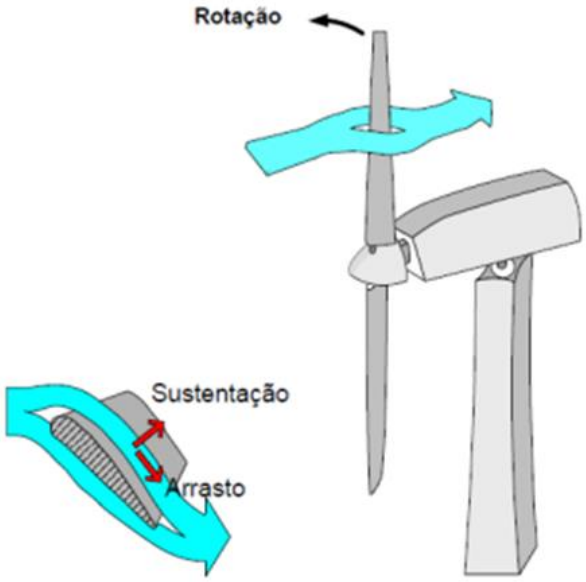


Figura 14: Princípio das forças aerodinâmicas da pá de uma turbina
Fonte: Rocha,2008

Segundo *DWIA apud* Rocha (2008), as turbinas de arraste são caracterizadas pela forma e à ação de o vento impulsionar as pás de modo que proporcione a rotação do rotor. Onde também, não deve a velocidade das pás ser maior que a velocidade do vento, limitando com isso a sua eficiência (ROCHA, 2008).

Seguindo a linha de análise do autor, as turbinas de sustentação têm a sua aerodinâmica embasada no princípio das asas dos aeroplanos. Isso se deve pelo fato do vento ao passar com uma velocidade maior sobre a parte mais longa da superfície da pá, gerará uma zona de baixa pressão, onde essa diferença de pressão entre as duas superfícies irá resultar uma força, nomeada como força de sustentação. Os efeitos dessa diferença de pressão nos aviões ocasiona uma força de elevação, contudo se tratando de uma pá de turbina que se encontra fixada pelo cubo a fim de

se mover em um plano determinado, essa força de sustentação irá ocasionar a sua rotação (ROCHA, 2008).

A Figura 15 ilustra com clareza a vista frontal de uma turbina eólica em operação. Nesta vista é destacado o sentido do vento (barlavento) e o sentido de rotação para a observação do corte de seção transversal de uma pá do rotor (ROCHA, 2008).

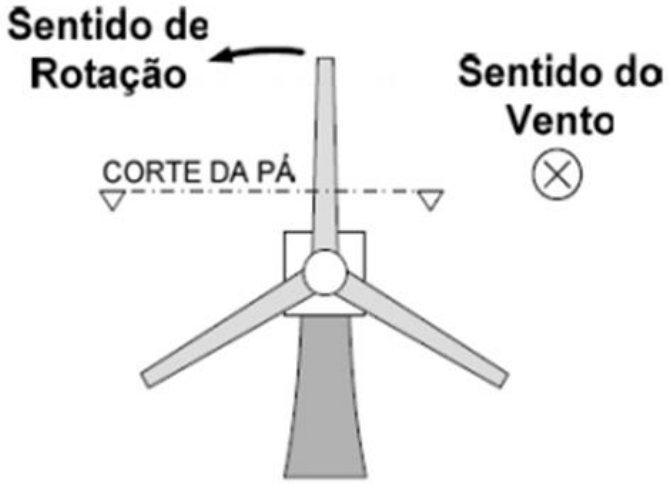


Figura 15: Vista frontal para observação do corte de seção transversal
Fonte: Rocha, 2008

O corte ilustrado na Figura 15 é mostrado em seguida na Figura 16. Onde a linha tracejada é chamada de “linha de corda”. Abaixo segue a nomenclatura adotada:

- $\overrightarrow{\mathrm{V}}\mathrm{VENTO}$ → velocidade absoluta do vento incidente na turbina;
- $\overrightarrow{\mathbf{V}}\mathrm{PÁ}$ → velocidade tangencial na seção da pá;
- $\overrightarrow{\mathbf{V}}\ \mathrm{REF}_{\mathrm{PÁ}}$ → velocidade do vento vista no referencial da pá: Subtração vetorial de $\overrightarrow{\mathrm{V}}\mathrm{VENTO}$ por $\overrightarrow{\mathbf{V}}\mathrm{PÁ}$;
- α → ângulo entre $\overrightarrow{\mathbf{V}}\ \mathrm{REF}_{\mathrm{PÁ}}$ e a “linha de corda”, chamado “ângulo de ataque”;
- β → ângulo entre $\overrightarrow{\mathbf{V}}\mathrm{PÁ}$ e a “linha de corda”, chamado “ângulo de passo”;
- $\vec{\mathbf{D}}$ → componente da força resultante na mesma direção do vento visto pela pá, ou força de arrasto;
- $\vec{\mathbf{L}}$ → componente da força resultante perpendicular a direção do vento visto pela pá, ou força de sustentação;

- $\vec{F}$→ força resultante na pá;
- $\vec{F}_{flap}$ → componente da força resultante na pá, na direção normal ao plano de movimento (flap);
- $\vec{F}_{edge}$ → componente da força resultante na pá, na direção tangencial ao plano de movimento (edge).

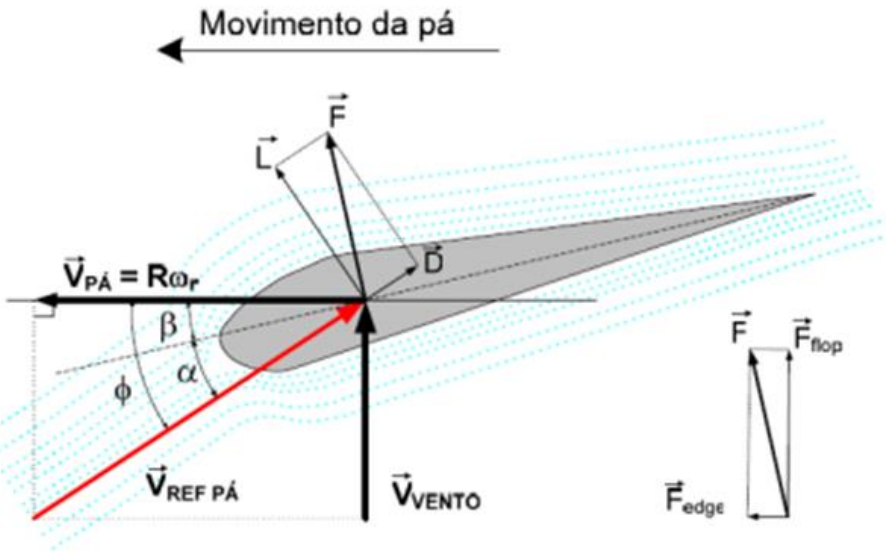


Figura 16: Diagrama de velocidades e forças atuantes nas pás da turbina
Fonte: Rocha, 2008.

2.6. Controle aerodinâmico de potência

Conforme Araújo (2011), as pás para as turbinas eólicas, são dimensionadas e projetadas de forma que atinjam e mantenham a sua potência nominal o máximo de tempo possível. Todavia, existe a necessidade também de se limitar a potência que é fornecida em períodos sazonais de ventos acima do regular previsto, com o objetivo de se evitar esforços excessivos ou até mesmos possíveis quebras de componentes mecânicos (ARAÚJO, 2011).

Atualmente, três formas construtivas muito conhecidas que permitem o controle da potência produzida no rotor: controle por estol, controle de passo e controle ativo de estol (ARAÚJO, 2011).

2.6.1. Controle de Estol

Segundo Araújo (2008), controle por estol é uma forma de sistema passivo que irá reagir à velocidade do vento. As pás são fixas no ângulo de passo para uma faixa de trabalho considerada como a velocidade nominal. Com rotação constante ou praticamente constante e com o aumento da velocidade do vento, o ângulo de ataque vai crescendo até que o escoamento se descole da face superior das pás (estol), ou seja, o fluxo se afasta da superfície da pá, surgindo regiões de turbulência entre este escoamento e a superfície. Este efeito reduzirá a força de sustentação e aumentará a de arrasto, produzindo com isso um fenômeno que atua como um freio aerodinâmico, limitando assim a potência de saída da turbina, conforme mostra a figura 17 (ARAÚJO, 2011).

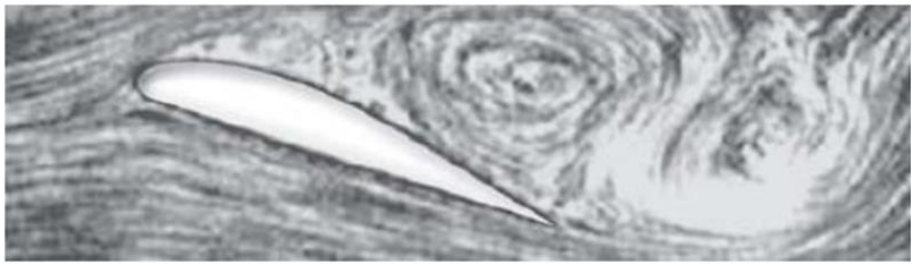


Figura 17: Fluxo separado (estol) em volta do perfil
Fonte: Araújo, 2013.

O autor ainda destaca que, com o objetivo de se evitar que o efeito estol ocorra em todas as posições radiais das pás ao mesmo tempo, reduzindo desse modo muito a potência do sistema, as pás possuem uma leve torção longitudinal que garante um suave desenvolvimento do estol (ARAÚJO, 2011).

Na maioria dos casos, o controle somente por estol, ou seja, com pás fixas é utilizado apenas em turbinas consideradas de pequeno e médio porte, pois este tipo de controle para turbinas de grande porte é considerado arriscado devido a estabilidade dinâmica e da intensidade de esforços que os componentes sofrem (ARAÚJO, 2011).

2.6.2. Controle de passo

Segundo Araújo (2011), este controle aerodinâmico é um meio ativo, e necessita de informações provenientes do sistema de controle. Uma vez que a potência nominal do gerador em questão é ultrapassada, devido ao excessivo aumento da velocidade do vento que está atuante na superfície das pás, as mesmas giram em torno de seu eixo longitudinal, ou seja, as pás mudam o seu ângulo de passo para que possibilite a mudança no ângulo de ataque. À medida que o ângulo de ataque foi reduzido, consequentemente a extração de potência do vento foi também diminuída, por conta da redução das forças aerodinâmicas atuantes. Sendo assim, para qualquer velocidade superior a nominal, o ângulo será ajustado de forma que o aerogerador tenha uma tendência a produzir somente a potência nominal.

Diante do autocontrole com relação ao ângulo de ataque, sob quaisquer condições de velocidade de vento, o fluxo em torno dos perfis da pá do rotor é bem aderente à superfície, gerando sustentação aerodinâmica a pequenas forças de arrasto, como mostra a figura 18.

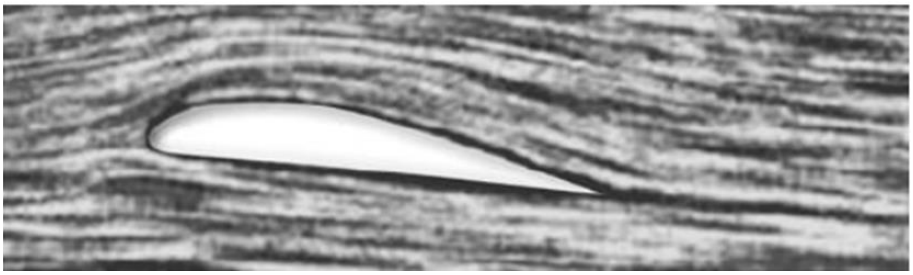


Figura 18: Fluxo aderente ao perfil

Fonte: Araújo, 2011.

2.6.3. Controle ativo de estol

Para Araújo (2011), este sistema de controle ativo nada mais é que a união das duas técnicas de controle de passo e por estol. Com a finalidade de se obter alto torque em baixa velocidade de vento, o equipamento é programado de mesma forma que é feito no controle de passo em pequenas velocidades. É comum a utilização de apenas alguns passos fixos, alternando de acordo com a velocidade atuante do vento nas pás (ARAÚJO, 2011).

Seguindo a linha de considerações do autor, uma vantagem para esse modelo, é a possibilidade de se controlar a potência de saída com uma maior precisão quando comparada ao estol passivo (ARAÚJO, 2011).

2.7. Turbinas eólicas de pequeno porte

A energia eólica possui um dos menores custos quando comparada as outras fontes de energia renováveis e a energia térmica. De acordo com os últimos registros dos leilões de energia, a geração eólica ficou atrás apenas da energia solar fotovoltaica, que detém o menor custo em reais por megawatts. (ANEEL, 2019)

No Brasil, a energia proveniente da geração dos ventos ainda é pouco difundida. Isso pode ser percebido quando se verifica a ANEEL, órgão que controla o sistema de compensação de energia elétrica, através da regulamentação 482 de abril de 2012. Esse documento diz respeito a geração descentralizada de energia de pequeno e médio porte para regiões urbanas e rurais. De todos os pontos abordados, vale destacar a permissão para se produzir a própria energia e, além disso, caso haja excedente de produção, adotando o uso de um medidor bidirecional na rede, poderá vender esse excedente na forma de crédito para as próximas contas de luz (ANEEL, 2014).

2.8. Turbina LABFAB

Visando essa expansão da energia eólica no Brasil e todos os benefícios que ela carrega consigo, o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) realizou um projeto aberto, que pode ser modificado livremente, de um aerogerador pautado pelo equilíbrio entre o baixo custo e a produção de energia eólica, com potência de mais de 100 watts no eixo do gerador. Seu objetivo principal é difundir um uso cada vez mais amplo da energia eólica distribuída, que não possui interface com o sistema interligado do país e que necessita de baterias por conta da variação temporal de disponibilidade de ventos (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018). O projeto inicial buscou componentes de baixo custo de fabricação ou aquisição, e serão descritos a seguir.

2.8.1. Pás do rotor

Para a construção das pás do rotor, foi idealizado um material que suportasse e mantivesse a integridade estrutural do rotor e o material selecionado para este fim foi o plástico *PVC*, pois além de ser um material de fácil acesso e custo baixo, possui uma boa performance de conformação. A figura ilustra o desenvolvimento da pá do projeto do IMT (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Figura 19: Desenvolvimento das pás do rotor

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.2. Cubo do Rotor

O cubo do rotor possui a função de fixar as pás adequadamente e transmitir o torque do rotor para o gerador consumindo a menor potência mecânica produzida pelo rotor. O cubo do rotor desse projeto é constituído pelo eixo, hastes e placas de fixação das pás e o acoplamento do mancal, além do spinner (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018). Dois tipos de cubos de rotor foram projetados para o mini gerador eólico do IMT, sempre buscando o baixo custo e a facilidade de acesso aos materiais. Um cubo feito a partir de um mancal de disco rígido e o outro utilizando um mancal de bicicleta. As imagens a seguir ilustram os componentes do cubo do rotor (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Figura 20: Mancal de disco rígido

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

Figura 21: Placa do cubo do rotor

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

Figura 22: Acoplamento do mancal

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

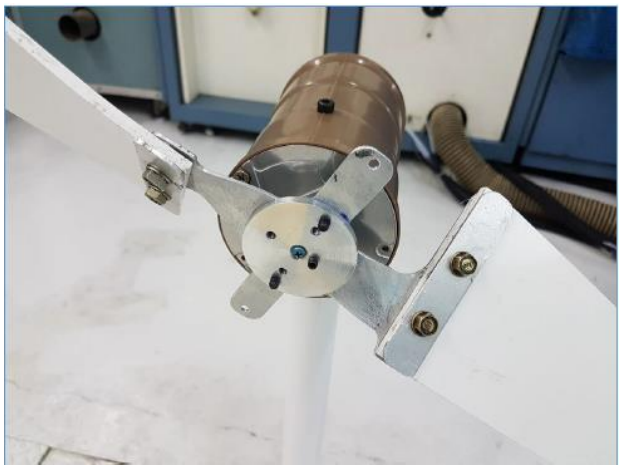


Figura 23: Cubo do rotor finalizado - sem o spinner

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

Figura 24: Mancal de bicicleta

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

Figura 25: Eixo do cubo já usinado no mancal

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

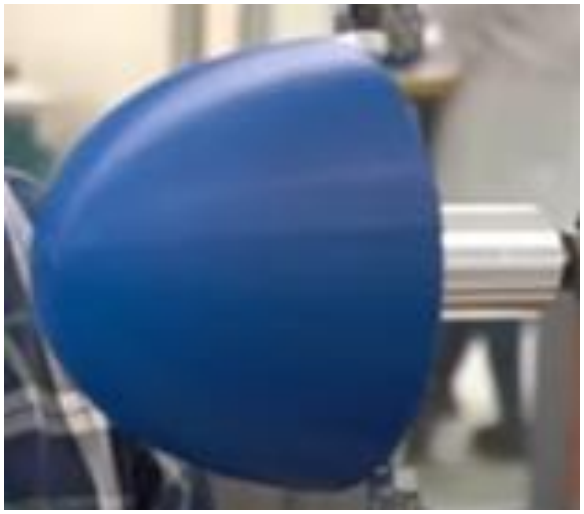


Figura 26: Spinner

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.3. Haste de Fixação

A haste de fixação do projeto deve ser resistente, pois a exposição ao vento e as vibrações causadas por ele podem ser altas, mesmo com o pequeno diâmetro do rotor. No projeto da microturbina eólica foram realizados duas possibilidades de construção da haste. A primeira, mais simples, é constituída de aço ABNT 1020 com uma capa de madeira e no apoio às peças do rotor e mancais possui uma mão francesa. A figura 16 ilustra a composição do primeiro protótipo (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Figura 27: Protótipo 1 construído em Aço ABNT 1020 com capa de madeira

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

A segunda possibilidade foi construída em tudo metálico de aço, cuja dimensões são de 1 ½ polegadas e altura de pelo menos 750 mm, com solda de uma chapa quadrada de 1/8 polegadas de espessura com comprimento de 250 mm e com quatro furos para que seja realizada a fixação. Nessa hipótese a nacele foi construída em material *PVC* tipo T com 2 polegadas de diâmetro. A figura 17 mostra a construção da haste através da segunda possibilidade (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Figura 28: Haste em aço

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

É importante ressaltar que o comprimento da haste deve ser pelo menos uma vez e meia o raio das pás.

O projeto original da microturbina acabou por escolher fabricar o modelo de haste mais simples, pois sempre procurou seguir o caminho de menor custo para produção de seus componentes. A tabela a seguir descreve todos os componentes utilizados na construção da haste de madeira.

Componente	**Quantidade**	**Especificação (mm)**
Base de madeira	1	750x250x250
Suporte para prateleira	1	200x200
Suporte do gerador (moto-redutor)	1	Ø80x30, nylon, plástico ou madeira (pode ser feito em impressora 3D).
Gerador (moto-redutor de robótica)	1	Marca Akiyama, tensão de trabalho entre 5 V e 15 V, referência: 6V @ 320 rpm.
Acoplamento elástico	1	Uniflex E10
Eixo de roda dianteira de bicicleta	1	Ø10x120
Cubo do rotor	1	Ø55x70
Fuso para fixação das pás	1	M8
Placa de fixação das pás	2	100x22x2
Placa superior para fixação das pás	2	100x20x2
Spinner	1	Impresso (3D) em PLA
Porcas para fixação das pás no Cubo e Placas	4	M8
Parafuso M5 sem cabeça para fixar o motor no seu mancal	1	M5x10
Parafusos para fixar o mancal do motor ao suporte de prateleira	2	Cabeça Chata Philips 3,5x30

Tabela 1: Custos componentes Aerogerador

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.4. Componentes elétricos

Considerando a necessidade de transformar a energia mecânica gerada pelo rotor em energia elétrica para ser empregada para alguma finalidade, fez-se necessário a utilização de um circuito elétrico, tal como exemplificado abaixo (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

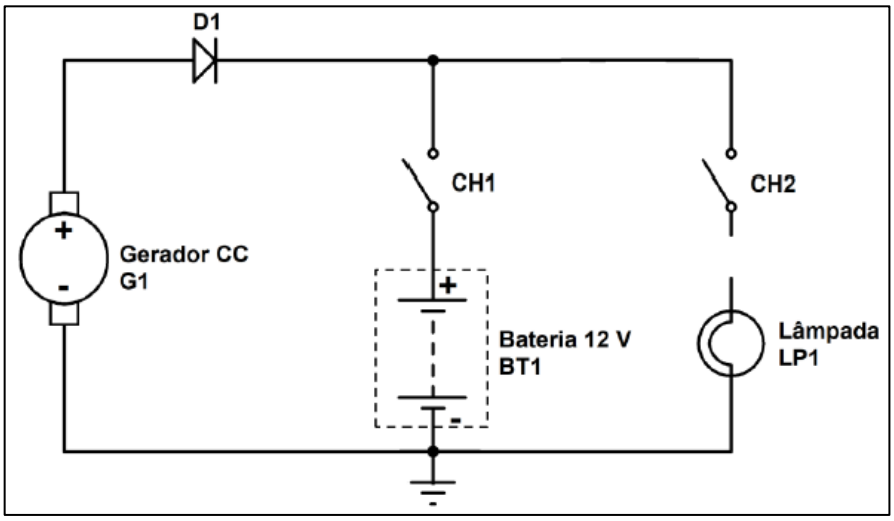


Figura 29: Circuito elétrico

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

Esse circuito é composto por um gerador de corrente contínua (G1), que pode ser retirado de equipamentos eletrônicos como por exemplo brinquedos ou motor de impressora. Em seguida, temos um diodo (D1) que possui a função de normalizar o sentido da corrente no circuito, impedindo que a bateria BT1 atue sobre o gerador G1. Uma bateria que armazena carga para que a lâmpada LP1 possa ser acionada. Essa lâmpada deve ser para alto rendimento e pode ser de *Led* ou *Led* de alto brilho. Por último, o circuito apresenta duas chaves, CH1 e CH2, os quais permitem a manobra do circuito entre bateria e lâmpada, como mostrado na tabela a seguir (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Condição das Chaves		Bateria BT1	Lâmpada LP1
CH1	**CH2**		
Aberta	Aberta	Desconectada do circuito	Desconectada do circuito
Aberta	Fechada	Desconectada do circuito	
Fechada	Aberta	Carregando se Vg > 0,7 + Vbat	Desconectada do circuito
Fechada	Fechada	Carregando se Vg > 0,7 + Vbat e acendendo a lâmpada LP1 se Vbat ≥ 11 V	Acesa se Vbat ≥ 11 V

Vg = tensão elétrica entre os terminais + e – do gerador em V

Vbat = tensão elétrica entre os terminais + e – do gerador em V

Tabela 2: Condição das chaves de acionamento do circuito

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.4.1. Gerador

No projeto do micro gerador foi utilizado um gerador que pode ser encontrado em equipamentos eletrônicos de baixa potência, como por exemplo, impressoras, que são motores que geram em corrente contínua (CC). A figura a seguir ilustra um motor CC.

Figura 30: Motor gerador CC

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.4.2. Diodo

O diodo utilizado no projeto não possui características especiais, o que permite que ele seja de ação lenta e que não necessita de grandes oscilações para tensão reversa (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018). A figura abaixo ilustra o diodo utilizado, facilmente encontrado em equipamentos eletrônicos e lojas do ramo ou em configuração compatível.

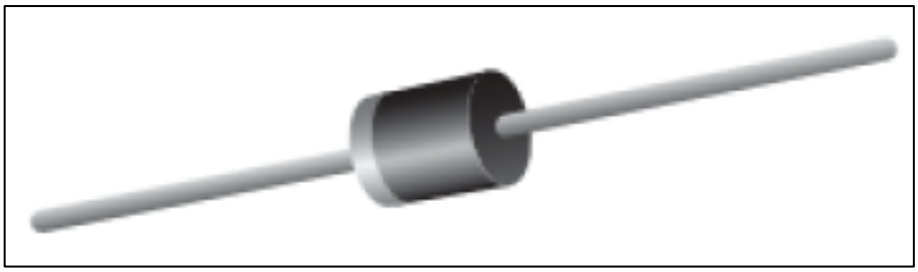


Figura 31: Diodo do projeto

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.4.3. Bateria

O tipo de bateria que pode ser utilizado no projeto do mini gerador eólico são aqueles que comumente são utilizados em alarmes residenciais, motocicletas ou nobreaks, de material tipo chumbo-ácido e com tensão de operação de 13,7 V, conhecida como as tradicionais baterias de 12 V. A figura a seguir ilustra os tipos de baterias que podem ser utilizados no projeto (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Figura 32: Baterias do projeto

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.4.4. Chaves

Nesse projeto podem-se utilizar os tipos de chaves mais simples disponíveis no mercado, como interruptor simples com uma seção para corrente baixa, como os encontrados em residências. A figura a seguir ilustra o tipo de chave utilizado no projeto (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Figura 33: Tipos de chaves

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.4.5. Lâmpada

Nesse projeto pode-se utilizar qualquer lâmpada que trabalhe na faixa de 12 V e potência similar à do gerador. Para o mini gerador foi desenvolvida uma lâmpada a partir de *LEDs* de luz branca alto brilho, resultando na obtenção de alta luminosidade, com operação entre 10 V e 14 V, com potência variando de 3 *W* a 11 V. a figura a seguir ilustra o circuito de iluminação (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

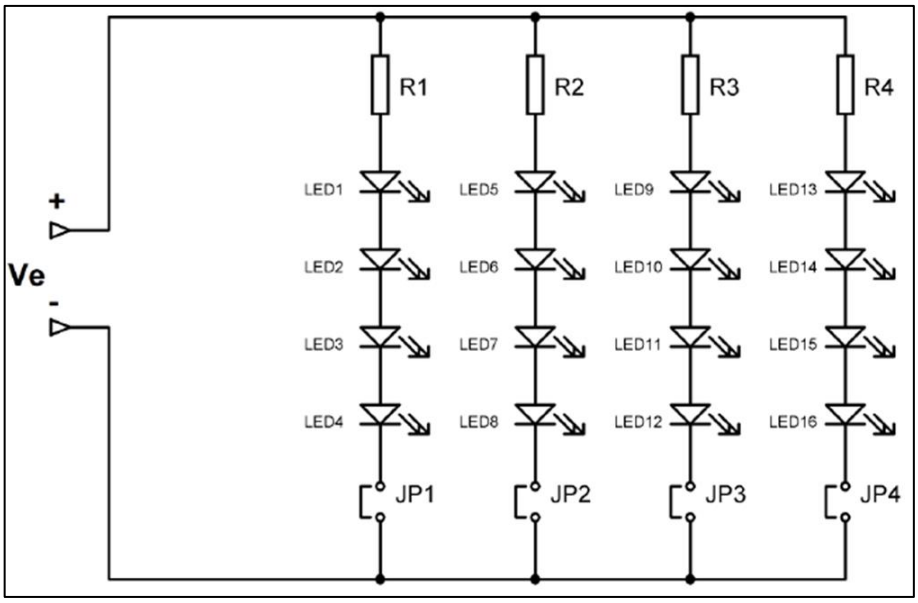


Figura 34: Circuito de iluminação

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

Onde os componentes são classificados como: Tensão de alimentação (Ve), entre 10 e 14 V de operação, resistores (R1 a R4) que atuam como limitadores de corrente, lâmpadas (*LED* 1 a *LED* 16) de alto brilho branco com 5 mm de diâme0tro e tensão de 2,7 V com 10 mA de potência nominal, e por fim, os jumpers (JP1 a JP4) que se caracterizam em ajustar a luminosidade. A utilização desse jump é de caráter opcional (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018).

Dimensionamento do resistor Ri (R1 a R4): admitindo as características do LED acima especificado, determina-se pelas equações I, II e III, abaixo:

(I) $VR1=Ve-4.\ VLED=12-4\ .2{,}7=1{,}2\ V$

Equação 1: Equação de Tensão

(II) $IR1=ILED\ R1=VR1IR1=1{,}210m=120\ \Omega$

Equação 2: Equação de corrente

(III) $PR1=VR1.\ IR1=12\ mW$

Equação 3: Equação de Potência

Por se tratar de circuito simétrico, então R1=R2=R3=R4 = 120 Ω x 1/8 W (comercial).

A corrente fornecida pela fonte Ve (gerador) é calculada por:

$$Ie = 4.\ ILED = 40\ mA \quad \text{(IV)}$$

Equação 4: Equação da corrente fornecida pela fonte

Resultando na potência máxima consumida pela lâmpada de

$$PLP1 = Ve.\ Ie = 480\ mW \quad \text{(V)}$$

Equação 5: *Equação de potência máxima*

Após a caracterização e dimensionamentos realizados, houve a estimativa média dos custos dos componentes, de acordo com a tabela abaixo.

Item	Qtd	Valor	
		Unitário	Total
Motor como gerador CC	1	R$ 59,00	R$ 59,00
Led alto brilho 5 mm branco	16	R$ 0,61	R$ 9,76
Resistor 120Rx1/8	4	R$ 0,05	R$ 0,20
Chave alavanca	2	R$ 4,85	R$ 9,70
Diodo retificador 5 A	1	R$ 0,82	R$ 0,82
Mini jumper sem aba	4	R$ 0,09	R$ 0,36
Barra de pinos 1x40 vias 11,2 mm 180°	1	R$ 0,48	R$ 0,48

Tabela 3: Custo médio dos componentes

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.5. Montagem

Após o levantamento de todos os dados e realização de todos os dimensionamentos para construção tanto da parte mecânica parte elétrica do projeto, chegamos à parte de construção da microturbina eólica do FAB LAB. Ao término de todas as montagens, chegamos aos seguintes resultados.

2.8.5.1. Montagem parte mecânica

Ao final de todos os dimensionamentos dos componentes mecânicos, chegamos ao seguinte resultado, de acordo com a figura a seguir:

Figura 35: Montagem final do projeto

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.8.5.2. Montagem parte elétrica

Do mesmo modo como foi realizado na parte mecânica, chegamos à montagem do painel elétrico do projeto, tal como ilustra a figura abaixo.

Figura 36: Painel elétrico do projeto

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

2.9. Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são usados, hoje em dia, em uma gama enorme e diversificada de aplicações, que vão desde equipamentos industriais, passando por eletrodomésticos, fazer uso da construção civil e de decoração, entre outros. Na maior parte dos casos, sua capacidade tem como apresentação mais relevante a ótima resistência ao desgaste gradual. Além disso, esses aços têm outras apresentações como: resistência mecânica elevada, boa maneira de tomar forma mecânica, facilidade de reciclagem, versatilidade, forte apelo estético, higiene/assepsia, facilidade de limpeza e uma vida longa, o que os fazem em vários casos, a melhor e a mais confiável opção para diversas aplicações tecnológicas. (*Pickering*, 1976; *Peckner & Bernstein*, 1977).

2.9.1. Classificação dos aços inoxidáveis

Um específico ajuste e variação da composição dos elementos de liga nesses aços aumentam ou diminuem uma certa propriedade, o que gera vasta empregabilidade dos aços inoxidáveis, fato de uma enorme atratividade para a indústria em geral, aparecendo assim a necessidade de identificação deles. Foi criado então, um sistema de numeração do *Unified Numbering System (UNS)*, desenvolvido por organizações internacionais de normatização, tais como a *Society of Automotive Engineers* (*SAE*), a *American Society for Testing and Materials* (*ASTM*) e a mais comum no Brasil, a *American Iron Steel Institute* (*AISI*) (ASM, 1987) (DILLON, 1995).

Nas apresentações mais comuns, como no sistema *AISI*, são reconhecidas como padrão de qualidade, série de aços, conforme a composição química e propriedades mecânicas. A maior parte destas tem uma designação de três números nas séries 200, 300 ou 400, a alguns têm uma ou duas letras como sufixos, o que indica uma própria modificação da composição. Tem uma associação geral das várias famílias microestruturais com várias exceções significativas para o sistema (*CHIAVERINI*, 2005) (*ASM*, 1987). A tabela 4 apresenta alguns aços de acordo com a identificação AISI e suas respectivas análises químicas.

	Tipo	Composição %									Prop. Mecânicas			
	AISI	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Outros	Lim. Res. (Mpa)	Lim. Esc. (Mpa)	Along. 50 mm (%)	Dureza *Rockwell -B*
Austenítico	201	0,15	5,6 – 7,5	0,06	0,03	1,00	16 – 18	3,5 – 5,5	-	N_2 = 0,25	-	-	-	-
	202	0,15	7,5 – 10	0,06	0,03	1,00	17 – 19	4,0 – 6,0	-	N_2 = 0,25	-	-	-	-
	205	0,12 – 0,25	14 – 15,5	0,03	0,03	0,50	16,5 – 18	1,0 – 1,75	-	$0,32 \leq N_2 \leq 0,4$	-	-	-	-
	301	0,15	2,00	0,05	0,03	1,00	16 – 18	6,0 – 8,0	-	N_2 = 1	800	270	52	82
	304	0,08	2,00	0,05	0,03	0,75	18 – 20	8,0 – 10,5	-	-	700	300	54	85
	304L	0,03	2,00	0,05	0,03	0,75	18 – 20	8,0 – 12,0	-	N_2 = 1	630	240	45	82
	316	0,08	2,00	0,05	0,03	0,75	16 – 18	10,0 – 14,0	2,0 – 3,0	-	620	300	52	85
	316L	0,03	2,00	0,05	0,05	0,75	16 – 18	10,0 – 14,0	2,0 – 3,0	N_2 = 1	530	260	45	85
Ferrítico	409L	0,03	2,00	0,04	0,02	1,00	10,5 – 11,7	0,50	-	$6(C+N_2) \leq Ti \leq 0,5$; Nb=0,17 máx.	450	210	38	81
	430	0,12	1,00	0,04	0,03	1,00	16 – 18	0,75	-	-				
	436	0,12	1,00	0,04	0,03	1,00	16 – 18	-	0,75 – 1,25	Nb+Ta=5xC Min (0,7 máx.)	480	300	30	88
	439	0,03	1,00	0,04	0,015	1,00	17 – 19	0,50	-	$0,2+4(C+N_2) \leq Ti+Nb \leq 0,75$ N_2 = 0,03	420	240	28	85
	444	0,03	1,00	0,04	0,03	1,00	17,5 – 19,5	1,00	1,75 – 2,25	$0,2+4(C+N_2) \leq Ti+Nb \leq 0,8$	490	337	32	85
	446	0,20	1,50	0,04	0,03	1,00	23 – 27	-	-	-	480	275	16	95
Mart.	410	0,15	1,00	0,04	0,03	0,50	11,5 – 13	-	-	-	1280	960	15	85
	416	0,15	1,25	0,06	0,15	1,00	12,0 – 14,0	-	-	-	1280	960	12	85
	420	0,15	1,00	0,04	0,03	1,00	12,0 – 14,0	0,75	0,75	-	1340	1000	17	88
	440 A	0,6 – 075	1,00	0,04	0,03	1,00	16 – 18	-	-	-	1850	1550	8	98

Tabela 4: Faixa de composição química e propriedades mecânicas de alguns aços inoxidáveis, segundo AISI (% em massa)

Fonte: *AISI*

Os aços inoxidáveis estão separados em cinco maiores famílias, com base na fase constituinte predominante na sua microestrutura, além da fase de fatores cristalográficos, composição química e mecanismo de endurecimento, que conferem características próprias, referente as propriedades mecânicas e resistência ao desgaste gradual, estas que são:

2.9.1.1. Aços Inoxidáveis Ferríticos

Apresentando no Sistema *AISI*, como da série 400, são ligas de Fe-Cr com microestrutura à temperatura ambiente é formada pela fase ferrita α, mesmo passando ao resfriamento por qualquer velocidade, onde sua formação cristalográfica é a cúbica de corpo centrado (CCC) (ASM INTERNATIONAL, 1999). Este tipo deliga é ferromagnética, e não deve ser endurecida por tratamento térmico, em de outra maneira, sua resistência aumenta através da deformação plástica a frio, uma vez que não são tratados termicamente. Contém teores que variam entre 10,5 e 30% de cromo em sua formação, com valores residuais de elementos austenitizantes como o Ni e N além do carbono C, minimizando ou até acabando com a presença da fase austenita. Como vantagem, apresenta resistência a fragilidade por hidrogênio, o desgaste gradual sob tensão em presença de cloreto, o desgaste gradual atmosférico e oxidação, além de acabar sendo oferecido a um baixo, preço em relação aos outros aços inoxidáveis. Por tanto, sua formação ferrita pode causar problemas de ordem metalúrgica, o que mexe como comportamento quanto a resistência do desgaste gradual, como sensitização, aumentando restrições quanto aos parâmetros de soldagem, precipitação de fases intermetálicas, transição dúctil-frágil e fragilidade a 475º C devido ao aumento da dureza e queda de ductibilidade, juntada ao surgimento da fase sigma (Fe-Cr). Um novo grupo intitulado de “superferrítico” como, por exemplo, o aço aqui estudado *AISI* 444, acertando algumas deficiências mostradas devido a presença do Mo, o que acerta a resistência do desgaste gradual por pite, e também devido a presença de Ti e Ni com estabilizadores, além de menores teores de C e Ni, protegendo-o desta forma contra a sensitização comum nos inoxidáveis austeníticos (CHIAVERINI, 2005).

2.9.1.2. Aços Inoxidáveis Austeníticos

Apresentados no sistema *AISI*, como da série 200 e 300, são ligas de Fe-Cr-Ni, acrescentada a presença do Mn (2% min.), sendo sua estrutura cristalográfica cúbica de face centrada (CFC) devido à fase austenita γ, que se aumenta até a temperatura ambiente, por causa das maiores concentrações de Cr (variando entre 15 e 30%) e de Ni (podendo chegar a 22%). Esses elementos apresentam uma ótima resistência ao desgaste gradual e forma a maior família em dígitos de ligas e aplicações, mostrando que as mais comuns tem em sua formação química aproximadamente 18% Cr e 8% Ni em peso a série 300, 15% Cr e 7% Mn em peso para a série 200 (*LIPPOLD*, 2005). Estes aços não são magnéticos e não são endurecíveis por motivo da sua microestrutura, mas quando encruados acontece um fenômeno de grande dureza superior ao que se encontrar para mesmas deformações dos demais aços. Isso acontece devido à instabilidade da austenita, que quando encruada muda-se gradativamente para ferrita, que quando aumentada por carbono contribui para uma maior dureza. Esses aços inoxidáveis, a condução térmica é menor e a expansão térmica é maior, apresentando assim maiores problemas de soldagem, sofrendo assim sensitização ao serem submetidos à grandes temperaturas e consequentemente o desgaste gradual intergranular quando colocados em meios agressivos (CHIAVERINI, 2005). A diminuição desse efeito pode ser diminuída com pequenos graus de Carbono (C≤0,03%) e acréscimo de elementos estabilizadores como o Ti e o Nb. Alguns aços em destaque, como os aqui apresentados *AISI* 304L e *AISI* 316L, não possuem tais elementos o que os fazem suscetíveis a sensitização. Embora, na presença de Mo e maiores teores de Ni, o *AISI* 316L, por exemplo, mostra boa resistência ao desgaste gradual sob tensão também comum em aços austeníticos (*ASM INTERNATIONAL*, 1999).

2.9.1.3. Aços Inoxidáveis Martensíticos

Visto no sistema *AISI* também fazendo parte da série 400, mostrando uma formação cristalográfica tetragonal de corpo centrado (TCC). Seus teores de Cr entre 11,5% e 18% e grandes graus de Carbono C (0,1 a 1,2%), conferem maior dureza

após tratamento térmico por têmpera, de tal forma que a martensita seja o seu componente principal, a medida em que aumenta-se o teor de C, cresce a resistência ao desgaste abrasivo, com tudo com uma perda considerável em ductilidade e tenacidade. São ferromagnéticos, de fácil trabalho a temperatura quente ou fria, apresentam boa resistência ao desgaste gradual quando expostos ao tempo, à ação da água e algumas substâncias químicas, contudo esta decaia à medida que se aumenta o teor de carbono, o que é compensado pelo alto teor de Cr. Mostra fragilização por hidrogênio H em meio de sulfetos (CHIAVERINI, 2005).

2.9.1.4. Aços Inoxidáveis Duplex

São aços caracterizados por mostrarem uma formação bifásica ferrítico-austenítica geralmente na proporção 1:1, o que mostra uma pequena propriedade magnética, por causa da presença de elementos estabilizadores da fase ferrita e austenita, como Cr em maior concentração (entre 18% e 27%) e Ni em moderada quantidade (entre 4% e 8%) respectivamente. O Molibdênio (Mo) encontrado presente nessas ligas (entre 2,5% e 4%), que além de ser um austenitizante, quando combinado com Ni e Cr, apresenta uma boa resistência ao desgaste gradual sob tensão fraturante, principalmente em meio ao cloreto, superior à comparação da liga austenítica, uma ótima tenacidade e ductilidade em relação à ferrítica, e propriedades mecânicas (LR e LE) até duas vezes mais que aquelas dos aços inoxidáveis austeníticos, o que os mantém extremamente chamativos ao mercado de plataformas offshores. Como espaço, precisa de maior controle de parâmetros para soldagem, quando se de solda em campo, para evitar maiores desequilíbrios entre as fases existentes (*ASM INTERNATIONAL*, 1999).

2.9.1.5. Aços Endurecidos por precipitação

São ligas Fe-Cr-Ni que se destacam por poderem ter suas propriedades mecânicas melhoradas a partir de tratamento de envelhecimento. Esse tipo de aço mostra normalmente um teor de 10 a 30% de Cr em sua formação química, além de 4% a 20% de Ni. O método de envelhecimento por precipitação cerca a estrutura de fases intermetálicas, que durante má deformação, impedem a movimentação de

discordâncias aumentando a resistência mecânica, e em menor escala, diminui a resistência ao desgaste gradual e aumentando a suscetibilidade a fragilização por hidrogênio. As fases responsáveis por este fenômeno são constituídos a partir da presença dos elementos Mo, Cu, Al, Ti e Nb. São subdivididos em alguns tipos: os martensíticos são endurecidos por precipitação através de um tratamento de envelhecimento/encruamento na parte fabricada. Os aços semi austeníticos, tem a fase austenita modificada em martensita por tratamento térmico antes do endurecimento por precipitação e os aços austeníticos são endurecidos através de precipitação mantendo-se a própria fase austenítica (CHIAVERINI, 2005).

As várias microestruturas dos aços existem em função da quantidade dos elementos de liga presentes. Aparecem basicamente dois grupos de elementos de liga: os que estabilizam a fase ferrita (Cr, Si, Mo, Ti e Nb); e os que estabilizam a fase austenita (Ni, C, N e Mn). Para ajudar, os elementos de liga com características parecidas foram associadas no cromo e no níquel equivalente. A partir desta associação, foi montado o diagrama de Schaeffler, que associa a microestrutura de um aço trabalhado com sua composição química. (*LIPPOLD*; *KOTECKI*, 2005)

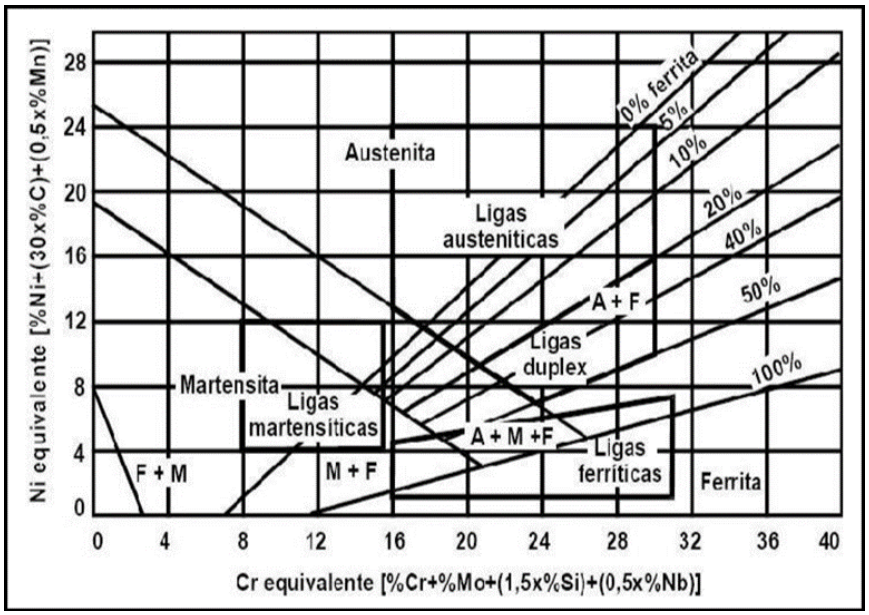


Figura 37: Diagrama de Schaeffler para aços inoxidáveis
Fonte: PANOSSIAN, 1993.

Ao avaliar o diagrama de *Schaeffler*, vemos a presença de três regiões distintas e que possuem uma fase: região completamente austenítica, ferrítica e martensítica. Neste diagrama é apresentado também regiões de duas e até três fases presentes. A

composição química junto com o processamento termomecânico verificada aos aços inoxidáveis propriedades diferentes.

Dentre os aços mencionados, os mais consumidos são os austeníticos, em especial o *AISI* 304, porém devido a fatores já apresentados inerentes ao mercado, como o aumento de custo do Níquel, há uma crescente troca destes pelos aços inoxidáveis ferríticos.

2.9.2. Aço Inoxidável *AISI* 304

Para *Sedriks*, os aços inoxidáveis da série 300 são basicamente ligas Fe - Cr - Ni. Outros metais atuam como elementos de liga nos aços inoxidáveis, sendo o cromo o mais importante e a sua presença é fundamental para assegurar as suas propriedades. A tabela 5 apresenta a composição química do aço inoxidável *AISI* 304 e a Tabela 6 apresenta as propriedades mecânicas do aço inoxidável *AISI* 304.

	C (%)	**Mn (%)**	**Si (%)**	**P (%)**	**S (%)**	**Cr (%)**	**Ni (%)**
AISI 304	0,08	2,0	0,75	0,045	0,03	18,0 a 20,0	8,0 a 15,0

Tabela 5: *Composição química do aço inoxidável AISI 304*

Fonte: *ASTM* A240

Propriedades Mecânicas	**σ_e (Mpa)**	**R_m (Mpa)**	**Alongamento (%)**
AISI 304	205	515	40

Tabela 6: Propriedade mecânicas aço inoxidável AISI 304

Fonte: *ASTM* A240

Os dados completos sobre o aço inoxidável *AISI* 304, tais como as principais características mecânicas e todas as outras propriedades estão disponíveis no anexo I.

2.10. Corrosão

O desgaste gradual de um corpo pode ser definido como um ataque destrutivo de um material através do efeito do reagir ao seu meio ambiente. Muitos autores explicam o desgaste gradual como um processo ensaiado ou estudado, no qual ocorre a danificação do material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada, ou não, a esforços mecânicos. Com base em documentos da *NACE* (*National Associantion of Corrosion Engineers*), o desgaste gradual é a destruição de uma substância, geralmente um metal, ou de suas propriedades devido á reação com o meio ambiente. (*ROBERGE*, 1999)

Nesta definição não há o emprego dos termos “químico” ou “eletroquímico”, permitindo sua aplicação a muitos outros materiais que também se degradam devido sua apresentação em ambientes agressivos, tal como existentes. As perdas econômicas diretas e indiretas ocasionadas pelo processo do desgaste gradual em estruturas metálicas são muito elevadas em todo o mundo. Segundo a Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO), no Brasil avalia-se a quantia a ser paga aos fenômenos de corrosão chegam a 3,5% do PIB, chegando ao total de 276 bilhões de dólares de custos diretos e 552 bilhões de dólares para gastos indiretos.

Os problemas ocasionados pelo desgaste gradual tornam o material inadequado para a sua utilização causando grandes perdas sociais e econômicas. Essas perdas são chamadas de diretas quando apresentadas aos custos de manutenção, juntada ao custo da mão de obra para concluir essa atividade. Alguns resultados diretos do desgaste gradual de um corpo são por exemplos: a troca de materiais, a paralisação do equipamento por falhas, a perda de eficiência dos equipamentos, entre outras. Já as perdas classificadas como indiretas DEIP, A. D. 22 são mais difíceis de avaliar, mas alguns estudos mostram que essas podem ser infinitamente maiores que as diretas e na maioria dos casos, impossíveis de se determinar.

Os custos indiretos, como interrupção no funcionamento de estabelecimentos industriais, a contaminação de produtos, os danos a equipamentos e os problemas de segurança como incêndios, explosões , liberação de produtos tóxicos, desmoronamento de construções, acidentes pessoais com perdas de vidas, elevam

exponencialmente a estimativa final dos prejuízos do processo que destrói e são quase sempre irreparáveis (*ROBERGE*, 1999).

2.10.1. Formas de corrosão

As formas ou tipos de desgaste gradual de um corpo podem ser apresentadas considerando-se a aparência ou forma de ataque (FONTANA, 1986) e pelas diferentes causas e mecanismos (GENTIL, 2017):

- Morfologia - uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular, transgranular, filiforme, por esfoliação, selecionada, em torno de cordão de solda e empolamento pelo hidrogênio;
- Causas ou mecanismos - por aeração, eletrolítica ou por correntes de fuga, galvânica, associada a solicitações mecânicas (desgaste gradual do corpo sob tensão fraturante), em torno de cordão de solda, selecionada, empolamento ou fragilização pelo hidrogênio;
- Fatores mecânicos - sob tensão, sob fadiga, por atrito, associada à erosão;
- Meio corrosivo: atmosférico, solo, induzida por microrganismos, água do mar e sais fundidos;
- Localização do ataque: pite uniforme, intergranular, transgranular.

2.10.1.1. Corrosão em frestas

O desgaste gradual de um corpo em fresta é caracterizado pelo acontecimento de uma intensa corrosão (generalizada ou por pites) em frestas que conforme em 1993 é devido a:

- Fatores geométricos, como soldas ou juntas;
- Contato metal e metal ou metal e não metal (madeira, borracha e plástico);
- Deposição de areia, produtos de corrosão permeáveis, incrustações marinhas e de outros sólidos (corrosão por depósitos);

- Trincas e outros defeitos metalúrgicos.

O desgaste gradual eletroquímico pode acontecer devido as diferenças na concentração dos íons ou dos gases que estão dissolvidos na solução eletrolítica, e entre duas regiões da própria peça metálica. Uma boa demonstração desse tipo de desgaste gradual acontece nas aberturas sob os depósitos de sujeiras, de produtos de corrosão, onde a solução penetre, porém, deve ser também menor o suficiente para que haja a estagnação do fluido, geralmente, a largura é de vários milésimos de centímetros (FONTANA, 1986). O desgaste gradual que ocorre especialmente nessas posições é chamado de corrosão em aberturas como se observa na figura 38.

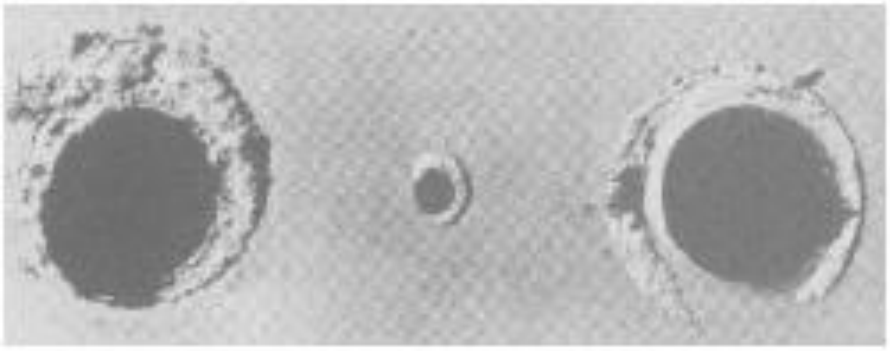


Figura 38: Foto de corrosão em frestas nas regiões cobertas pelas arruelas imersas em água do mar
Fonte: *CALLISTER* JR., 2002.

O mecanismo apresentado para o desgaste gradual em frestas está ilustrado na figura 38. Após o oxigênio ter-se exaurido da área que está localizada no interior desta abertura, a oxidação do metal ocorre nessa posição de acordo com a equação abaixo:

$$M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$$

Equação 6: Reação de uma corrosão em frestas

Os elétrons dessa reação eletroquímica são transportados através do metal para regiões externas adjacentes, onde eles são consumidos em reações de redução mostradas na equação abaixo:

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4\,(OH^-)$$

Equação 7: Reação de uma corrosão em frestas

Em muitos ambientes aquosos, foi mostrado que a solução que se apresenta no interior da abertura desenvolve concentrações elevadas de íons H+ e Cl-, que são especialmente corrosivos. Muitas ligas que podem ser passivadas são suscetíveis à corrosão em frestas, pois as películas protetoras são destruídas com frequência pelos íons H+ e Cl-, como se pode ver na figura 38:

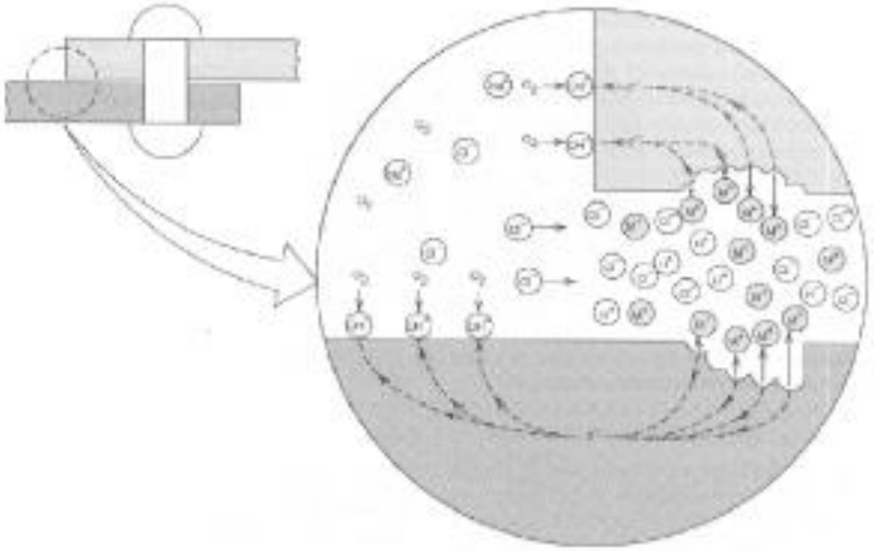


Figura 39: Ilustração esquemática do mecanismo de corrosão em frestas entre duas chapas rebitadas

Fonte: Fontana, 1986

A corrosão em frestas pode ser evitada pela:

- Utilização de juntas soldadas em lugar de rebitadas ou aparafusadas;
- Utilização sempre que possível de juntas não absorventes;
- Transferência frequente de depósitos acumulados;
- Execução de projetos com vasos de contenção, evitando áreas de estagnação e que garantam uma escoação completa.

2.10.1.2. Corrosão localizada ou por pite

O desgaste gradual por pite é como um tipo de desgaste gradual localizado que se caracteriza pelo ataque de pequenas áreas de uma superfície metálica que se mantem totalmente intacta (*PANOSSIAN*, 1993). São buracos menores que se formam no interior do material a partir do topo de uma superfície horizontal, segundo uma direção totalmente vertical, como mostra a figura 40 (b) (*CALLISTER JR*., 2002). Os pites podem ser apresentados isolados ou próximos um do outro, ficando neste último com uma superfície áspera (FONTANA, 1986). Podem se apresentar de muitas formas e geralmente mostrada como uma cavidade cujo diâmetro na superfície é igual ou menor que a profundidade (COUTINHO, 1992). Os buracos são preenchidos com produtos de desgastes denominados pites tuberculares por apresentar tubérculos (pequenos montes) sobre a abertura dele. Exemplos de desgaste gradual por pites estão na figura 40 (a) e (b).

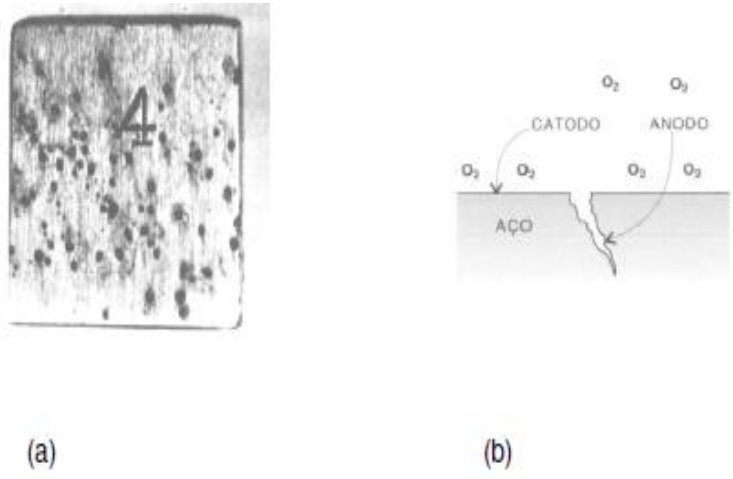


Figura 40: (a) Pites em uma chapa de aço inoxidável 304 pela ação de uma solução de cloreto (Fontana 1986) – (b) Formação de anodos e catodos, devido a diferença de concentração de oxigênio

Fonte: Dias, 2000

Para *Callister*, em 2002, o mecanismo de desgaste gradual por pite e o mesmo do desgaste por abertura, no sentido de que a oxidação ocorre no interior do próprio pite, com uma redução complementar na superfície. Os pites se formam na superfície horizontal e se desenvolvem na direção e sentido da força da gravidade devido ao

represamento do eletrólito ácido dentro do pite. A solução nas extremidades do pite se torna cada vez mais concentrada e acida na medida em que o seu crescimento progride. Um pode ser começado através de um defeito superficial e localizado, como um arranhão ou uma pequena variação na composição. Para *Panossian* (1993), a célula de desgaste gradual responsável por este tipo de ataque é formada por pequenas áreas atacadas e catodo com grande área sem ataque. Por este motivo, as velocidades de desgaste gradual são elevadas ocasionando a danificação dos componentes metálicos mais rapidamente, quando igualadas as danificações determinadas pelo desgaste gradual generalizado. Em metais ou ligas passiváveis o pite é nucleado (ruptura da camada passiva) e o potencial oxidação do ambiente é que definirá se haverá o crescimento do pite ou a repassivação. Se na solução houver condições favoráveis para formação de pites, soluções com cloreto, o potencial será menor e é denominado potencial de pite (Ep) (*CALLISTER JR*., 2002). A figura 41 mostra através das curvas potencio dinâmicas o comportamento de ligas inoxidáveis em um meio ácido redutor.

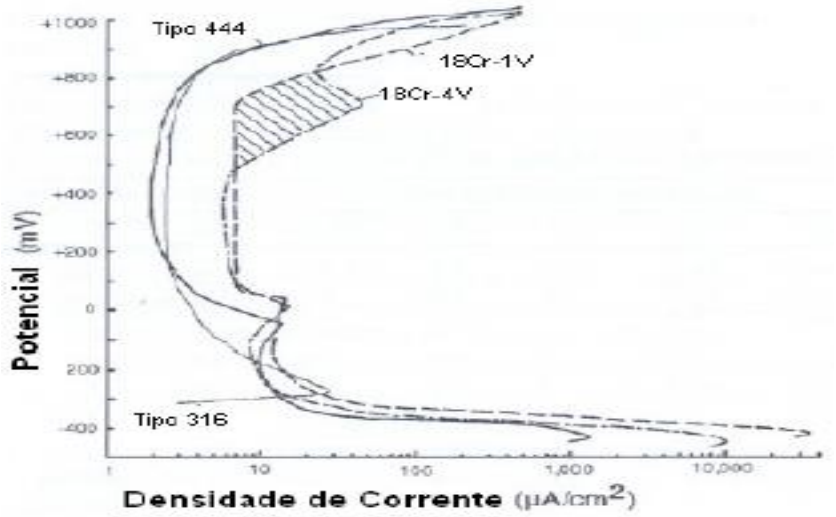


Figura 41: Curva de polarização anódica para um 18Cr-V em solução de H2SO4 a 31°C mostrando a influência da adição de V. A área hachurada indica o efeito danoso do V sobre o Ep. Curvas de AISI 444 e 316 são mostradas para comparação
Fonte: *Davies*, 1993

O desgaste gradual por pite é uma das formas mais simples de ataque, principalmente quando em contato com águas poluídas com halogenetos, principalmente cloreto, fluoreto e brometo, em condições estagnadas e elevadas temperaturas favorecem a ocorrência deste tipo de desgaste gradual. Os pites se

formam especialmente em regiões anódicas como segregações e precipitados, sendo intensificados com as condições de estagnação do meio. Uma superfície polida e homogênea apresenta uma enorme resistência ao desgaste gradual por pite. A adição do elemento molibdênio melhora a estabilidade da camada passiva bem como a resistência ao desgaste gradual por pite.

2.10.1.3. Corrosão Intergranular

Para *Panossian* em 1993, este tipo de desgaste gradual acontece devido á formação de micro células de desgaste gradual nas vizinhanças dos contornos de grão. As micro células, por sua vez são originadas por causa da presença de precipitados de segunda fase e segregações nos contornos de grãos e o enriquecimento ou empobrecimento de uma fina zona adjacente aos contornos de grão. Os precipitados e a zona empobrecida do elemento que liga são resultados da difusão de impurezas ou do próprio elemento de liga para a região do contorno. Isso acontece porque energeticamente a região do contorno é favorável a difusão das sujeiras e dos elementos de liga. Conclui-se que os metais puros não são suscetíveis ao desgaste gradual intergranular. O desgaste gradual acontece devido à diferença de potencial de eletrodo entre os componentes presente na região do contorno, na fina zona alterada adjacente ao contorno e na região mais interna do grão. A fina zona empobrecida tem formação química diferente da matriz e apresenta comportamento diferente do ponto de vista do desgaste gradual, o que leva à desintegração ao longo dos contornos de grão e consequentemente a perda das propriedades mecânicas. Esse tipo de desgaste gradual fica principalmente em alguns tipos de aços inoxidáveis. Para *Callister* (2002), quando aquecida a temperaturas entre 500 e 800 °C e resfriada por períodos bem longos, as ligas ferríticas se tornaram-se sensíveis ao ataque intergranular. Porque nesta faixa de temperatura acontece a formação menor de partículas de precipitados de carbonetos e nitretos de cromo (Cr23C6) região do contorno de grão apresentado nas figuras 42 (a) (b) (*CALLISTER JR*., 2002).

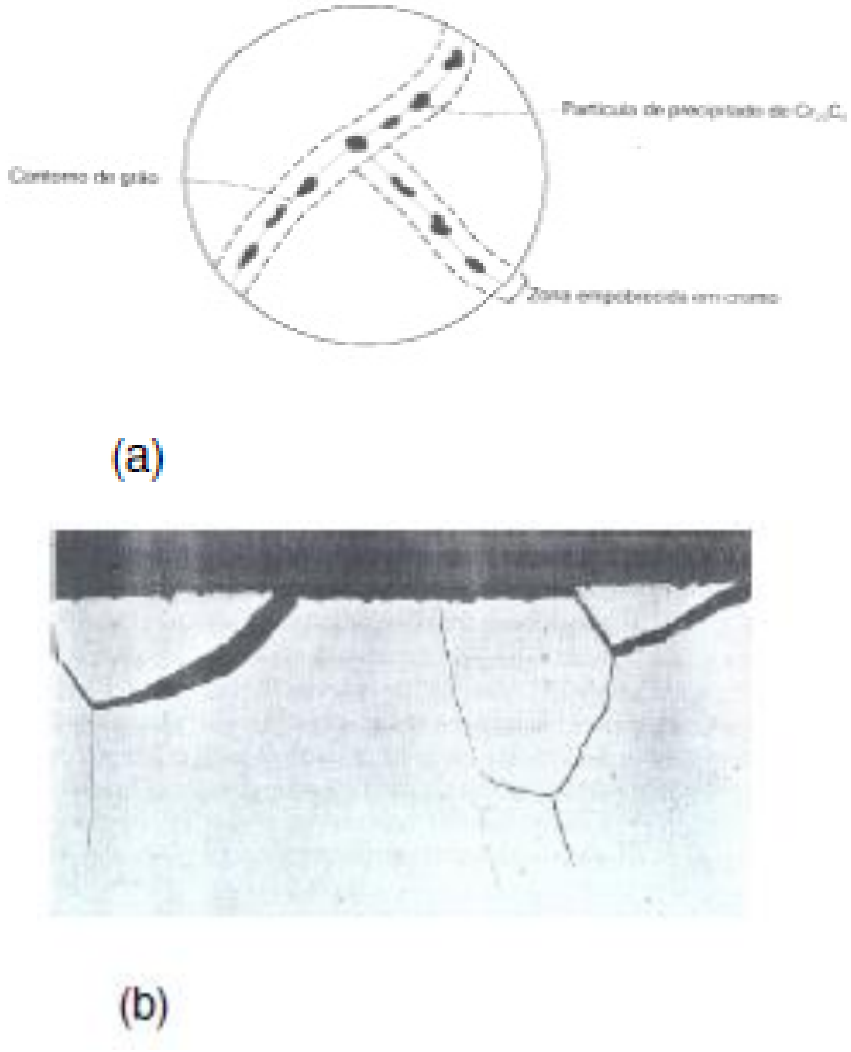


Figura 42: Modelo de precipitação de carbonetos de cromo no contorno do grão de aço inoxidável. (b) – Micrografia, ataque intergranular em sulfato férrico ácido sulfúrico, liga austenítica sensitizada por um longo tempo de exposição causando destaques

Fonte: CALLISTER JR., 2002.

O cromo e o carbono mudam de posição por difusão para os contornos de grãos a fim de formar os precipitados, o que deixa uma zona pobre em cromo adjacente ao contorno do grão. Consequentemente, essa região do contorno de grão fica então altamente suscetível ao desgaste gradual. Há um número grande em evidência experimentais que sustentam a teoria de empobrecimento de cromo como a causa principal do desgaste gradual intergranular em aços inoxidáveis ferríticos. (*DEMO*, 1971) (*STREICHER*, 1973) Nesses materiais resfriamentos rápidos até a temperatura

ambiente, a partir de 900ºC, não impedem a precipitação de carbonetos e ou nitretos ricos em cromo nos contornos de grãos. Nas proximidades desses precipitados, são formadas regiões empobrecidas de cromo com teores bem menores (12%) para produzir a passividade, podendo ser atacada por meios agressivos produzindo o desgaste gradual intergranular. Nos aços inoxidáveis ferríticos, o carbono é um conteúdo importante para a resistência ao desgaste gradual intergranular. Teor 0,01% de C é suficiente para formar sensitização nesses aços (*FOLKHARD*, 1988). Assim podemos pensar que diminuindo o teor do carbono, o aço pode aparentar maior resistência ao desgaste gradual intergranular. No entanto, encontramos na literatura que reportam aços inoxidáveis ferríticos com baixos teores de conteúdo intersticiais que são susceptíveis ao severo desgaste gradual intergranular [21;22;23]. E diminuir o teor de conteúdos intersticiais em níveis inferiores a seus limites de solubilidade chegaria ao resultado de uma prática economicamente inviável (*GORDON*, *VAN BENNEKOM*, 1996). A sensitização pode ser diminuída com o aumento de conteúdo estabilizadores tais como: titânio, nióbio e ou zircônio. Esses conteúdos formam carbonetos ou nitretos de titânio ou nióbio, diminuindo a sensitização (*TOMARI et al*., 1982) (*OGWU; DAVIES*, 1997). Os tratamentos térmicos por outro lado, melhoram a resistência ao desgaste gradual intergranular dos aços inoxidáveis ferríticos. Esses tratamentos são normalmente, especificados entre 650ºC a 800ºC (*VILLAFUERTE*; *KERR*, 1992). Nessas temperaturas, a velocidade da difusão do cromo na ferrita é praticamente elevada para deixar sua difusão homogeneizando as regiões empobrecidas. Nas faixas de temperatura entre 500ºC a 650ºC, a velocidade da difusão do cromo na ferrita é diminuída (*DEMO*, 1971) sendo, portanto, necessário um tempo maior de tratamento térmico para recuperar a resistência do desgaste gradual intergranular. *Panossian* (1993) reforça que a suscetibilidade ao desgaste gradual intergranular é fortemente dependente dos menores constituintes em particular da quantidade, tamanho e distribuição da segunda fase ou da segregação, resultado da história metalúrgica do metal, sendo tão importante quanto sua formação química. Os tratamentos térmicos e trabalhos a frio afetam, não só o tamanho e as formas dos grãos, mas também a composição, tamanho e distribuição dos micros constituintes:

- Se parecerem presentes no metal, de forma finamente partilhados e distribuídos uniformemente pela matriz, o metal não será suscetível ao desgaste gradual intergranular.

- Se constituírem uma rede contínua nos tornos de grãos, o ataque intergranular será bastante provável.

2.10.1.4. Corrosão sob tensão

O desgaste gradual sob tensão é um processo que destrói o metal ou a liga, que é o resultado da ação simultânea de um meio agressivo (específico para cada metal) e de tensões de tração estáticas residuais ou aplicadas sobre o metal ou liga conforme Fontana (1986) e *Panossian* (1993). A falha resultante do desgaste gradual sob tensão é o surgimento de aberturas sobre a superfície metálica aparentemente intacta. *Callister* (2002) lembra de alguns materiais que são inertes em um meio particularmente desgastado se tornando suscetível a essa forma de desgaste gradual quando uma tensão é aplicada. Pequenas aberturas se formam e então se propagam em direção perpendicular a tensão, como o resultado de uma falha que pode ocorres. Na figura 43 (a) e (b) são apresentados exemplos de micrografias de desgaste gradual sob tensão transgranular em aços inoxidáveis austeníticos e intergranular em aços inoxidáveis, ferríticos, conforme:

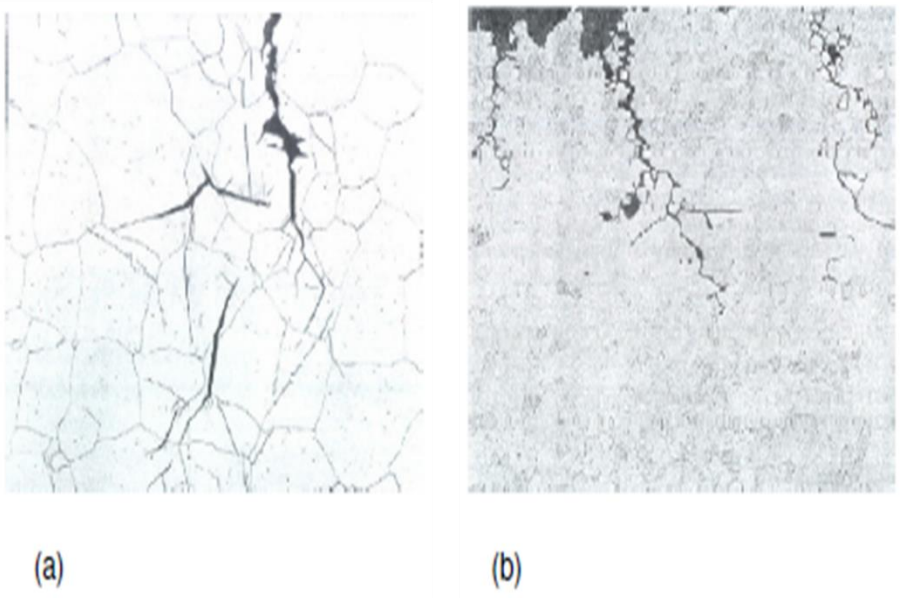


Figura 43: Micrografias de desgaste gradual
Fonte: CALLISTER JR., 2002.

O comportamento da falha é característico de um material delicado, embora a liga metálica pareça intrinsecamente dúctil. Além disso, as aberturas podem formar-se em níveis de tensão relativamente baixos, significativamente menor que o limite de resistência à tração. A tensão que produz a abertura não precisa ser propriamente aplicada externamente, podendo ser uma tensão residual do processo de conformação ou resultado de rápidas mudanças de temperatura ou ainda de uma contração diferente, no caso de ligas bifásicas onde cada fase possui um coeficiente de expansão diferente. Para diminuir ou acabar com a ocorrência do desgaste gradual sob tensão deve-se diminuir a magnitude de tensão:

- Diminuindo a carga externa ou amentando a área da seção reta na direção perpendicular aquela em que é aplicada a tensão.
- Realizando tratamento térmico de recozimento ou alívio das tensões residuais.

Segundo *Sedriks* (1996), existe grande probabilidade de que a existência de falhas de empilhamento diminua a ductilidade das ligas ferríticas, aumentando a susceptibilidade ao desgaste gradual sob tensão (*CST*) em meios com cloreto. (*SEDRIKS*, 1996) A ductilidade é diminuída pela precipitação de carbonetos e nitretos (fragilização a alta temperatura), pela construção de alfa linha (fragilização a 475ºC) e pelo grau de trabalho a frio. Assim esses três objetivos nos mostram num aumento da susceptibilidade à *CST* das ligas ferríticas em meios com cloreto (*SEDRIKS*, 1996) Alguns estudos apresentados sobre ligas inoxidáveis ferríticas, mostram que tipos de *AISI* 430 e 434 exibem desgaste gradual uniforme ou intergranular quando expostos em solução com 25% de NaOH em ebulição (*SEDRIKS*, 1996). Para mitigação da *CST* nas condições apresentadas, sugere que o aumento com a aplicação de correntes anódicas e catódicas. A dissolução anódica ajuda o início da nucleação de pites e aberturas. Aumentando o teor de molibdênio dos aços inoxidáveis ferríticos e diminuída a resistência a fragilização pelo hidrogênio. A abertura nos aços ferríticos normalmente é transgranular, mostrando poucas evidências de aberturas intergranular (*SEDRIKS*, 1996).

2.10.1.5. Corrosão Transgranular

É comparado à corrosão que acontece no grão da rede cristalina do metal. Pode provocar também a corrosão por tensão fraturante. O ataque transgranular acontece por intermédio dos grãos com a possibilidade de cambiar a sua direção devido à orientação dos átomos que tem cada um dos grãos, a baixa resistência que apresenta cada grão depende do caminho que percorre este ataque. Os materiais que mais comuns a apresentarem este tipo de corrosão são aços austeníticos, quando são expostos a ambientes que contém cloretos (GENTIL, 2017).

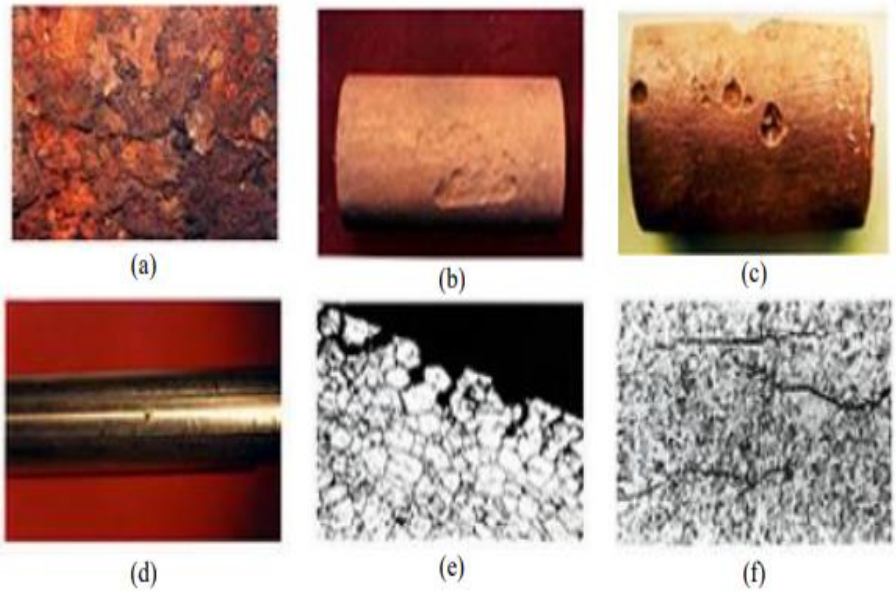


Figura 44: Formas de corrosão em aços ao carbono - (a) Uniforme; (b) Em placas; (c) Alveolar; (d) Pite; (e) Intergranular; (f) Transgranular
Fonte: GENTIL, (2017)

2.10.1.6. Corrosão Alveolar

A corrosão acontece com maior profundidade e de forma mais localizada que a corrosão por placa, basicamente em escavações ou crateras na superfície, as quais apresentam fundo arredondado. É um tipo de corrosão que pode se apresentar em todo tipo de metal, mas são os metais e ligas passiváveis que estão mais suscetíveis a esse ataque. Essa morfologia de corrosão ocorre quando a camada passivável

permite que pequenas áreas anódicas fiquem dentro de grandes áreas catódicas, gerando pontos de ataque (GENTIL, 2017)

2.10.1.7. Corrosão em placas

Os produtos da corrosão são encontrados somente em regiões da superfície. É mais observado em metais que formam uma película de proteção que aumenta constantemente de volume até desprender-se da superfície metálica, expondo o metal a novo ataque corrosivo (GENTIL, 2017).

2.10.1.8. Corrosão Uniforme

A perda de massa e espessura homogênea ao longo de toda a extensão do metal é uma característica desse tipo de corrosão. O ferro e aço sofrem este tipo de corrosão quando expostos a o solo, atmosfera, águas naturais, e outros meios. Trata-se de uma corrosão facilmente detectada por meio da perda de espessura e formação de camada de óxido na superfície do metal. (GENTIL, 2017)

2.10.2. Meios Corrosivos

O principal responsável pelo processo de corrosão é o meio. Para cada tipo de material a um comportamento distinto em relação ao processo de corrosão a depender do meio ao qual estão expostos. Os meios corrosivos mais comuns são: o solo, a atmosfera, as águas naturais, a água do mar e os produtos químicos.

2.10.2.1. Corrosão atmosférica

Quando os materiais são expostos em ambientes normais “não controlado” sofrem maior corrosão do que aqueles expostos em atmosferas controladas. Os fatores determinantes na corrosividade da atmosfera sobre os metais são: a umidade relativa, contaminantes (gases, poluentes, sais, O2, N2, SO4), e a temperatura. Em

atmosferas secas, o crescimento de películas protetoras de óxido ocorre em forma logarítmica em função do tempo de exposição. Estando o metal exposto à chuva, o processo de corrosão acontece no período que ele permanece molhado, havendo diminuição do processo com a secagem da superfície, dessa forma, o comportamento e velocidade do processo corrosivo no material podem variar.

A temperatura e os contaminantes atmosféricos dependem da localização do material, por exemplo, nas atmosferas industriais onde os contaminantes e a temperatura são mais altas que nos ambientes rurais. As atmosferas industriais e marinhas são as mais agressivas, junção desses dois meios, possibilita uma agressividade superior, isso porque a presença de sias e gases corrosivos atuam forma associada. Os ventos podem favorecem o processo de erosão, que de forma associada ao meio corrosivo contribuem para geração do mecanismo de corrosão-erosão (GENTIL, 2017)

2.10.2.2. Corrosão em solos

A heterogeneidade do solo ao longo de toda sua extensão torna o meio bastante complexo. Estruturas enterradas são as mais atingidas por esse meio corrosivo. Como principais elementos que tornam esse ambiente corrosivo, pode ser citado: A condutividade, o *pH*, a composição, a diferença de aeração e a presença de micro-organismos. Em locais mais chuvosos, os solos tornam-se mais corrosivos devido ao incremento da condutividade do meio (fluxo de elétrons) e ao processo de lixiviação (extração ou solubilização dos constituintes químicos) que permite que o solo seja empobrecido. Com a solubilização dos sais, o solo apresentar-se como um eletrólito mais ativo e no caso da solubilização de compostos de caráter ácido, eles promoverão um meio mais ácido, intensificando corrosividade. Segundo Nascimento (2011) nos lugares áridos os sais solúveis são trazidos à superfície através de capilaridade e são evaporados, tornando o solo mais alcalino. Em geral os solos mais corrosivos são aqueles que contêm sais solúveis, bicarbonatos, sulfatos, sendo caracterizados por sua acidez (baixos pH) ou aqueles com alcalinidade alta (elevado pH). (NASCIMENTO; *IERARDI et.al.*, 2008)

2.10.2.3. Corrosão por Produtos químicos

Para ocorrência do processo corrosivo nesse tipo de meio, não é necessário a transferência de elétrons e a presença de água para gerar deterioração no material, podendo a corrosão surgir pelo ataque direto de algum agente químico sobre determinado material. Produtos como solventes, ácido nítrico, ácido sulfúrico, hidróxidos, entre outros que se encontram presentes nas indústrias química e petroquímica são caracterizados por sua elevada corrosividade principalmente para os materiais metálicos. Para produtos químicos contendo água, tem-se o mecanismo eletroquímico, associado ao fluxo de elétrons, como ocorre, por exemplo, com metais expostos a soluções aquosas ácidas ou alcalinas. Na ausência de água, o processo reativo se dá diretamente entre o produto químico e o metal, configurando o mecanismo químico de corrosão.

2.10.2.4. Corrosão em águas naturais

As águas naturais são meios caracterizados por conter quantidades baixas de sais solúveis, minerais e valores de pH quase neutros, contudo, este meio pode conter sedimentos, microrganismos, resíduos industriais, ou outros poluentes. Esses fatores, associados às pequenas quantidades de sais e minerais presentes no meio podem interagir, fazendo com que as águas naturais acelerem a corrosividade nos metais.

2.10.2.5. Corrosão na água de mar

A água do mar é um fluido de grande corrosividade, o que é atribuído principalmente a sua composição salina, constituída por uma elevada concentração de NaCl (35 g/l), e outros sais à base de Mg, Ca e K, além de outros solutos em menor quantidade. Sendo constituída basicamente por compostos salinos, principalmente cloretos e sulfatos de sódio e de magnésio dissolvidos em água, conforme apresentado na tabela 7, que mostra os principais íons presentes em água do mar.

O pH da água do mar encontra-se em uma zona de baixa alcalinidade, na faixa de pH variando entre de 8,0 a 8,3 (*TALBOT e TALBOT*, 1998).

De acordo com a salinidade as águas podem ser classificadas em doces, salobras e salgadas, conforme mostrado na tabela 8 ressalta-se que outros constituintes estão presentes em menor quantidade, contudo, de maneira individual são insignificantes frente à concentração dos cloretos que é dominante, e o que corresponde a um dos íons mais agressivos (MARIANO; 2008).

Íons salinos	**% porcentagem em massa**
Cloreto ($Cl^{-)}$	55,04
Sódio (Na^{+})	30,61
Sulfato (SO_4^{2-})	7,68
Magnésio (Mg^{2+})	3,69
Cálcio (Ca^{2+})	1,16
Potássio (K^{+})	1,10

Tabela 7: Principais íons salinos da água do mar

Fonte: (Vieira, 2013)

Águas Doces	Salinidade < 0,05%
Águas Salobras	Salinidade entre 0,05% e 3%
Águas Salinas	Salinidade > 3%

Tabela 8: Classificação de águas quanto à salinidade

Fonte: (Vieira, 2013)

De forma geral a velocidade e magnitude do ataque corrosivo gerado nos diferentes meios corrosivos nomeados anteriormente, é influenciada por alguns fatores tais como efeito do oxigênio dissolvido, efeito do pH, temperatura e efeito de sais dissolvidos.

Além da composição química, deve ser destacada a presença microbiológica na água do mar, que pode contribuir para intensificação do processo de corrosão. Quando o processo de corrosão está associado à ação de micro-organismos, dá-se o nome de corrosão micro biologicamente induzida (CMI) ou biocorrosão.

2.10.2.6. Efeito do pH

O pH é uma variável de vital importância no processo de corrosão, a maior parte dos materiais passivam-se em meios básicos (exceção para os materiais anfóteros), em resposta se tem que aumentar o pH diminui a taxa de corrosão (DUTRA, 2006). A maioria dos metais apresenta mais sensíveis ao processo corrosivo em meios com pH ácidos.

2.10.2.7. Efeito do oxigênio dissolvido

O oxigênio é um elemento despolarizante que vai funcionar como controlador dos processos corrosivos, consequentemente, na pressão atmosférica a velocidade de corrosão aumenta com o acréscimo do oxigênio dissolvido (DUTRA, 2006).

2.10.2.8. Temperatura

Em todos os casos, o aumento da temperatura acelera as reações químicas, pois se têm a diminuição da sobretensão e da polarização. No caso da água do mar, a elevação da temperatura promove o aumento da velocidade de difusão dos íons, além de incrementar o ponto de saturação dos sais; desse modo, esse eletrólito teria maior quantidade de sais dissolvidos do que a quantidade que seria observada em água gelada, portanto, o processo de corrosão é intensificado. No caso de fluidos como o óleo, ao se elevar a temperatura, a condutividade do eletrólito aumenta, permitindo que haja fluxo de elétrons e consequente diminuição da resistividade (*LIU; ZHANG et al*., 2009).

Em alguns casos quando a temperatura sobe, formam-se camadas de produto de corrosão mais compactas e aderentes na superfície do aço, possibilitando uma proteção mais efetiva. Sobretudo, vale ressaltar que em sistemas contendo soluções com gases corrosivos, o aumento da temperatura promove uma diminuição da solubilidade desses gases, de modo que pode promover uma redução do processo de corrosão (*LIU; ZHANG et al*., 2009) (GENTIL, 2017)

2.10.2.9. Efeito de sais dissolvidos

Dentre os sais que mais podem estar presentes nos diferentes meios corrosivos e podem influenciar no processo de corrosão estão os sulfatos, cloretos, sais oxidantes e bicarbonatos, cálcio e magnésio. O cloreto de sódio é um composto iônico que aumenta a condutividade do meio favorecendo o processo corrosivo; os sulfatos presentes favorecem no crescimento de bactérias redutoras de sulfato (BRS) e junto com os bicarbonatos de cálcio ocasionam incrustações, que são fatores que influenciam forte mente na agressividade e na velocidade dos meios corrosivos. Os sais podem agir acelerando (aumento da condutividade) ou retardando (diminuição da solubilidade do oxigênio, ação inibidora ou passivadora) a velocidade de corrosão (GENTIL, 2017). Deve ser ressaltado que a presença de sais oxidantes, sais de ferro, cromatos e nitritos de sódio podem atuar como passivadores ou inibidores retardando a deterioração dos materiais (*ELIYAN*, 2013) (*SHERIF*, 2014)

2.10.2.10. Corrosão associada a Solicitações mecânicas

Durante o seu emprego, os materiais estão expostos a diferentes solicitações mecânicas, o meio corrosivo associado com estas solicitações, que podem ser intermitentes ou contínuas geram a aceleração do processo de deterioração destes materiais (*HALL*, 2009).

Corrosão sob fadiga, corrosão sob tensão, corrosão por erosão são algumas das solicitações as quais os metais podem estar submetidos. Sendo uns dos objetivos nesta pesquisa, avaliar o comportamento corrosivo em sistemas dinâmicos.

Com relação erosão o desgaste de um material é causado por partículas sólidas, liquidas ou bolhas gasosas ou liquidas formadas no fluido. O processo pode se classificar por diversos mecanismos: em fluxo contínuo ou intermitente de um fluido; no transporte de gases ou líquidos com pequenas quantidades de partículas sólidas e em meios contendo partículas sólidas. Nos três casos, as condições as quais os materiais estão sujeitos podem ocasionar a formação de marcas onduladas com tamanhos e formas dependentes do ângulo de incidência, velocidade e direção com as quais os meios atingem o material (*ASTM INTERNACIONAL*, 2001). A seguir é feita uma descrição mais detalhada dos mecanismos anteriormente listados.

2.10.2.11. Erosão líquida

É um processo de erosão líquida desenvolvido em meios líquidos que podem ou não ter a presença de partículas abrasivas sólidas. Esse fenômeno envolve o mecanismo denominado de cavitação – erosão, que consiste basicamente na formação de bolhas dentro do líquido e o posterior colapso destas atingindo a superfície do material, causando a remoção e deterioração do material. A colisão de gotas líquidas com a superfície à elevada velocidade resulta no mecanismo conhecido como “erosão de impacto líquido”. O mecanismo básico da erosão líquida envolve constante remoção de material na superfície devido a cargas impulsadas repetidamente contra áreas de tamanho microscópico no material. E um desgaste de difícil entendimento, pois não é possível determinar as condições hidrodinâmicas que produz a erosão e o processo metalúrgico pelo qual a partícula é desprendida do material. No entanto, cabe ressaltar que tanto o fenômeno de cavitação quanto o mecanismo de erosão líquida exercem forças hidrodinâmicas similares na superfície sólida de um material gerando desgaste superficial (*ASTM INTERNACIONAL*, 2001).

2.10.2.12. Erosão por partículas solidas (EPS)

É um tipo de desgaste que consiste da perda de material na superfície, devido os repetidos impactos por pequenas partículas sólidas sobre o material. Em muitas aplicações a superfície do material é atacada por partículas sólidas gerando grandes ou pequenas quantidades de material removido que vai depender de fatores como o ângulo de impacto da partícula, tamanho da partícula, velocidade de impacto e propriedades mecânicas como ductilidade e resistência ao desgaste do material atingido. É um fenômeno que pode ser observado, por exemplo, no processo de jateamento, o qual é utilizado para remover a carepa de óxido ou promover uniformidade da superfície. (*RENDÓN*; *OLSSON*, 2009)

2.10.2.13. Erosão por Lama

Esse tipo de erosão é caracterizado pela presença de um mecanismo corrosivo que forma produtos de corrosão, os quais podem contribuir com a quantidade de partículas sólidas no processo.

Tratasse da contínua perda de material na superfície sólida devido ao movimento da mistura de partículas sólidas com um fluido, que geralmente é a água. Como exemplo, pode ser citado o bombeio de lodos nos poços de petróleo.

2.11. Câmara *Salt Spray*

A Câmara de névoa salina, também conhecida como Câmara *Salt Spray*, é composta de uma câmara, um reservatório de solução de sal, um equipamento para fornecimento de ar comprimido (sem impurezas, para que não exista interferência no teste), dois bicos atomizadores com sistema autoblocante (garante distribuição de névoa salina homogênea e sem entupimento), suportes de amostras, provisão para aquecimento da câmara, purga da câmara de teste (evita contaminação do ambiente de instalação do equipamento quando a tampa for aberta), coletores de névoa e meios necessários para controle dos parâmetros (COUTINHO, 2019).

Os ensaios de corrosão *salt-spray* são aplicados em indústrias em geral para simular a corrosão acelerada e são conhecidos também como ensaio de corrosão névoa salina *Salt Spray*. Por meio desse procedimento é feita a identificação e o controle do componente em análise em relação à corrosão. Para esse ensaio gera-se uma atmosfera úmida totalmente controlada com cloreto de sódio a qual as amostras são expostas, simulando em curto prazo de tempo o que aconteceria se a mesma amostra fosse exposta em intempérie real por um longo período de exposição (COUTINHO, 2019).

Sendo destrutivos, os ensaios de corrosão *salt-spray* possuem embasamento em normas automotivas e procedimentos internos padronizados. As normas a que os ensaios de corrosão salt-spray devem atender rigorosamente são ABNT 8094, ASTM B117, DIN 50021 SS, ISO 9227 NSS, GM4298P, Mil Std 810E, JIS Z2371 e JIS H 8502 (COUTINHO, 2019).

Os ensaios de corrosão *Salt-spray* são um tipo de análise química quantitativa de metais ferrosos e não ferrosos via emissão óptica. Em uma análise química, é realizada a verificação da composição química do material e a identificação das ligas.

Considerada uma das análises mais conhecidas para verificar a resistência à corrosão, os ensaios de corrosão *Salt-spray* são capazes de apontar regiões de um material formadas por camadas menos espessas e fazem ainda a comparação de um mesmo item de lotes distintos (COUTINHO,2019).

Os ensaios também podem ser não destrutivos, como os realizados via Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS). Enquanto o ensaio via MEV faz a análise para caracterizar fraturas ou superfícies de materiais e determinar mecanismos de falhas e condição via Microscopia Eletrônica de Varredura, o ensaio via EDS realiza a microanálise química de materiais para identificar elementos químicos presentes em sua superfície via EDS-MEV.

2.12. Sistema *On-Grid*

Sistema *on-grid*, conhecido como sistema conectado à rede, é um conjunto de equipamentos que transformam a energia proveniente de meios como eólica ou solar em energia elétrica. Sua origem remete aos sistemas fotovoltaicos isolados da rede, conhecidos como sistemas *off-grid*, ou seja, a energia gerada por ele alimenta um banco de baterias que alimentam o consumidor final.

Segundo a ANEEL, a Resolução Normativa 482 de 2012 – “ III– para o caso de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída a que se refere o inciso II do art. 6º, o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos o percentual de energia excedente alocado a essa unidade consumidora e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R$/MWh” e “IV – o excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, exceto para o caso de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, em que o excedente é igual à energia injetada” (ANEEL, 2014). A figura a seguir ilustra um sistema *on-grid* conectado a uma residência.

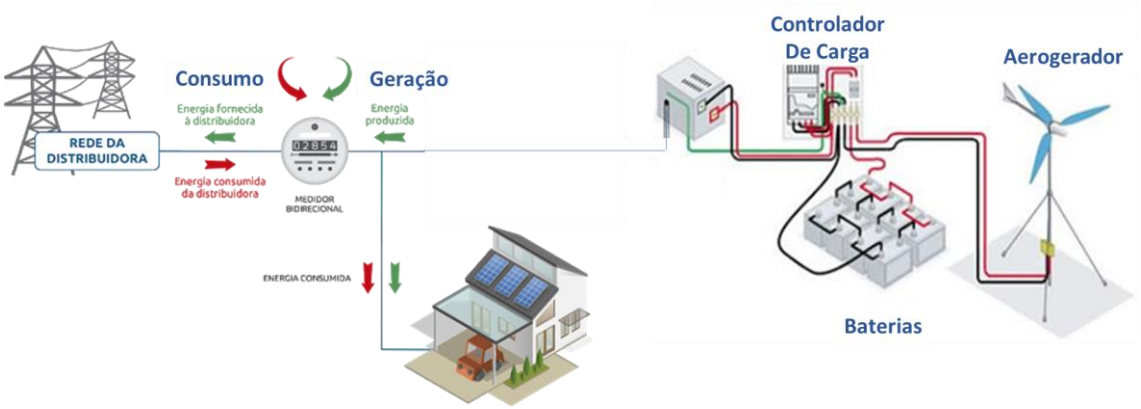


Figura 45: Sistema *On-Grid* de uma residência

Fonte: http://www.satisenergia.com.br/eolica

2.13. Estudos de Viabilidade

Existem vários métodos para se realizar um estudo de viabilidade econômica, porém, no presente trabalho serão utilizados o Método do Valor Presente Líquido (VPL) e o Método da Taxa Interna de Retorno (TIR).

2.13.1. Método do Valor Presente Líquido (VPL)

Para Souza e Clemente (2009), o valor presente líquido é a concentração de todos os valores esperados de um fluxo de caixa na data zero. O autor afirma ainda que o VPL, com certeza, é a técnica robusta de análise de investimento mais conhecida e mais utilizada. Quanto aos ganhos e retornos do projeto, Gitman (1992), afirma que os ganhos de um projeto podem ser representados tanto por entradas de caixa, quanto por economia obtida em função da implantação, por isso vale avaliar o custo benefício do projeto de investimento.

Esse tipo de técnica desconta os fluxos de caixa da empresa a uma taxa especificada. Essa taxa refere-se ao retorno mínimo que deve ser obtido no projeto, de forma a manter inalterado o valor de mercado da empresa. As taxas utilizadas podem ser chamadas de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo de capital. Segundo Gitman (1992), ‘’A apuração do VPL é bastante simples, sendo a obtenção das informações a parte mais trabalhosa.

Para calcular o VPL de um projeto é necessário obter o custo do projeto, o retorno esperado num horizonte de tempo, e o custo de capital''. Portanto, o VPL é definido como o valor presente dos fluxos de caixa deduzidos o valor inicial do investimento, isto é:

$$\mathrm{VPL} = \sum_{j=0}^{n} \mathrm{Rj}(1+\mathrm{i})^{-\mathrm{j}} - \sum_{j=0}^{n} \mathrm{Cj}\,(1+\mathrm{i})^{-\mathrm{j}}$$

Equação 8: Equação VPL

Rj = valor atual das receitas;

Cj = valor atual dos custos;

i = taxa de juros;

j =período em que as receitas ou os custos ocorrem;

n = número de períodos ou duração do projeto.

O projeto que apresenta o VPL maior que zero (positivo) é economicamente viável, sendo considerado o melhor aquele que apresentar maior VPL. Para uso desse método, é necessária a definição de uma taxa de desconto (i).

2.13.2. Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

Taxa Interna de Retorno é a taxa de desconto que iguala o Valor Presente dos fluxos do investimento inicial. Para Brito (2003), a Taxa Interna de Retorno é o melhor indicador para comparar investimentos dentro do mesmo ramo de negócio. E para comparação de projetos diferentes, o melhor indicador é a grandeza do Valor Presente.

Para obtenção do resultado deste indicador Schubert ressalta:

Neste método, o procedimento será encontrar a taxa de retorno, que fará com que o valor presente de caixa líquido esperado ou projetado, do projeto se iguale ao valor presente dos desembolsos de caixa aplicados no projeto. (SCHUBERT, 1989, p.50).

2.13.2.1. Vantagens da TIR

- O resultado da TIR é a rentabilidade, o que facilita os gestores na comparação de taxas definidas como custo de capital;
- É expressa em percentual;
- Facilidade de interpretação, onde a maior TIR é a melhor opção na comparação de dois projetos.

2.13.2.2. Desvantagens da TIR

- Não expõe o risco que a organização corre;
- Não apresenta potenciais perdas, só retrata os retornos esperados;
- Poderá apresentar taxas múltiplas se os fluxos de caixa não forem uniformes;
- Não conta com o custo do investimento, se tiver saída de caixa após gerado o fluxo não é uma boa opção;

A TIR é calculada para um investimento que não gera lucro nem prejuízo, ou seja, para um VPL igual a zero. Assim, considera-se a soma da entrada do fluxo de caixa menos o investimento inicial.

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{FCi}{(1+TIR)^i} - Investimento\ incial = 0$$

Equação 9: Equação TIR

Nela:

- FC = Fluxos de caixa
- i = período de cada investimento
- N = período final do investimento.

2.14. Período de Recuperação do investimento

Também conhecido por *Payback*, o período de recuperação do investimento é o tempo necessário para que o investimento em um projeto seja recuperado. O Payback é considerado uma medida de avaliação de risco de um projeto, pois quanto mais rápido o capital investido retorne, mais baixo é o risco do projeto. Nesse trabalho, será analisado o tempo de *Payback* na Avaliação Econômica do projeto.

2.15. Potência Teórica

A quantidade de potência disponível no vento que pode ser convertida em potência mecânica por uma turbina eólica é chamada de coeficiente de potência (cp), normalmente utilizado para comparar a eficiência de diferentes turbinas eólicas.

A quantidade de energia que o vento transfere para o rotor dependerá da densidade do ar (ρ), da área de varredura do rotor (A) e do deslocamento de uma massa de ar (m) a uma velocidade (v1). A potência do vento (Pv) associada ao deslocamento da massa de ar:

$$\mathrm{Pv} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta \mathrm{m}}{\Delta \mathrm{t}} \cdot \mathrm{v}_1^2$$

Equação 10: Quantidade de energia do vento

Onde t representa o tempo. Como o fluxo de massa de ar que atravessa as pás do rotor é dado por:

$$\frac{\Delta \mathrm{m}}{\Delta \mathrm{t}} = \rho \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{v}_1$$

Equação 11: Fluxo de massa de ar

Substituindo a equação 10 na equação 9, a potência mecânica disponível no vento irá variar com o cubo da velocidade e pode ser dada pela seguinte equação:

$$\mathrm{P_v} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{v}_1^3$$

Equação 12: Potência Mecânica no vento

Onde:

Pv = potência média do vento em Watts (W);

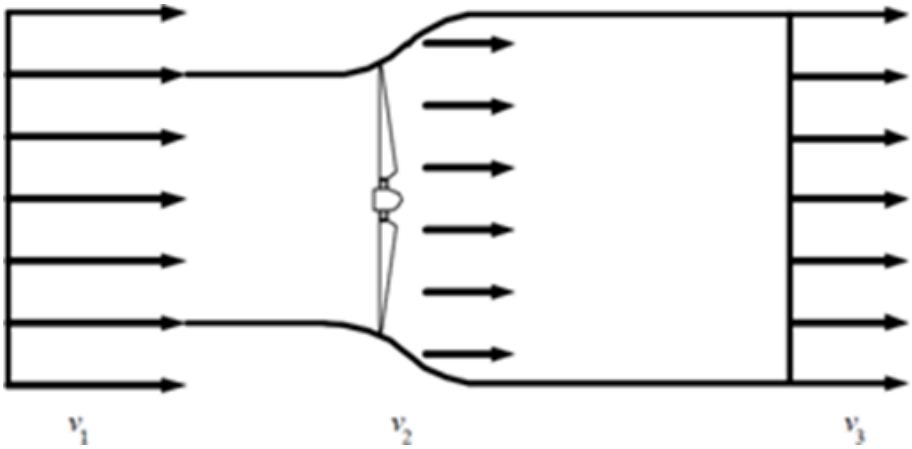
ρ = densidade do ar seco = 1,225 kg/m3;

A= área de varredura do rotor (m2);

v1 = velocidade média do vento (m/s).

Se o local de instalação apresentar um regime de vento com o dobro de velocidade, a potência disponível será oito vezes maior. Logo, o valor da velocidade do vento no local é o fator mais relevante para o aproveitamento eólico. Contudo, a potência disponível no vento não pode ser inteiramente recuperada pelo aerogerador, apenas uma fração da energia cinética do vento que atravessa as pás da turbina pode ser convertida em energia mecânica no rotor.

A potência que a turbina poderá extrair do vento dependerá da velocidade que o vento exerce dentro do mecanismo, v2, na Figura 2-9. Esta velocidade, v2, é menor que a velocidade do vento incidente nas pás, v1, pois a turbina interfere no fluxo de ar e atua como um bloqueio. Após passar pelo rotor, o vento é turbulento e com velocidade reduzida, v3.



Equação 13: Perdas de velocidade do vento na turbina.

Fonte: Marques, 2004.

Logo, a potência mecânica teórica da turbina (Pt) é dada por:

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot (v_1^2 - v_3^2)$$

Equação 14: Potência mecânica teórica da turbina

E o fluxo de massa de ar que atravessa as pás do rotor pode ser dado por:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \,.\, A \,.\, v_2$$

Equação 15: Fluxo de massa de ar nas pás

Assumindo que a velocidade do vento que atravessa as pás do rotor é:

$$v_2 = \frac{v_1 + v_3}{2}$$

Equação 16: Velocidade de vento na pá

Substituindo as equações anteriores, obtém-se a seguinte equação para a potência mecânica teórica:

$$P_t = \frac{1}{4} \,.\, \rho \,.\, A \,.\, (v_1 + v_3) \,.\, (v_1^2 - v_3^2)$$

Equação 17: Potência mecânica teórica

Finalmente, o coeficiente de potência (cp), que caracteriza o nível de rendimento de uma turbina eólica, é uma medida adimensional e pode ser definido pela razão:

$$C_p = \frac{P_t}{P_v} = \frac{\text{Potência extraída pela turbina}}{\text{Potência disponível no vento}}$$

Equação 18: Coeficiente de Potência

A potência extraída pela turbina teórica (Pt), calculada anteriormente, não considera as perdas mecânicas da operação. O verdadeiro valor da potência extraída do vento é menor, assim como o coeficiente de potência real da turbina e pode ser corrigido:

$$C_{p,corr} = C_p \,.\, \eta$$

Equação 19: Coeficiente de Potência corrigido

Onde η representa o rendimento das perdas mecânicas e varia entre 0 e 1.

2.15.1. Rendimento de *Betz*

Extrair toda a potência disponível do vento significaria que a velocidade do vento na saída da turbina seria igual a zero (v3=0), ou seja, a turbina agiria como uma barreira, interrompendo o deslocamento da massa de ar (fluxo de massa de ar nulo) e, consequentemente, implicaria em potência nula. Por outro lado, se a velocidade do vento incidente não se alterar na saída da turbina (v1= v3), então, novamente, a potência extraída do vento será nula. A velocidade referente à potência máxima extraída é um valor entre v1 e v3, (*ASTM INTERNACIONAL*, 2001).

Teoricamente, quanto maior a potência extraída pela turbina, menor será a velocidade do vento de saída, v3. No entanto, se v3 diminui muito, pela Eq. ((2.6), o valor de v2 também diminui, reduzindo o fluxo de massa de ar e reduzindo a potência extraída pela turbina. Percebe-se, assim, que existe um limite máximo de extração da energia cinética disponível no vento.

O limite de *Betz* indica o valor máximo do rendimento que o aerogerador pode atingir. O coeficiente de potência cp, *Betz* = 0,593 significa que somente 59,3% da potência disponível no vento pode ser convertida em potência mecânica por uma turbina eólica. Note que esta análise independe do tipo de turbina, (*ELIYAN*, 2013). Na prática as turbinas operam abaixo do limite de *Betz*, o coeficiente das turbinas com melhor desempenho no mercado está entre 0,35 e 0,45.

3. METODOLOGIA

3.1. Seleção da Turbina

Como mencionado anteriormente, o objetivo deste trabalho consiste em analisar os desgastes provocados em dois aerogeradores em ambientes salinos. A primeira turbina é um aerogerador comercial, com um motor de 1600 *Watts* de potência, constituído de 5 lâminas de fibra de vidro reforçada, de acordo com a figura 20**.**

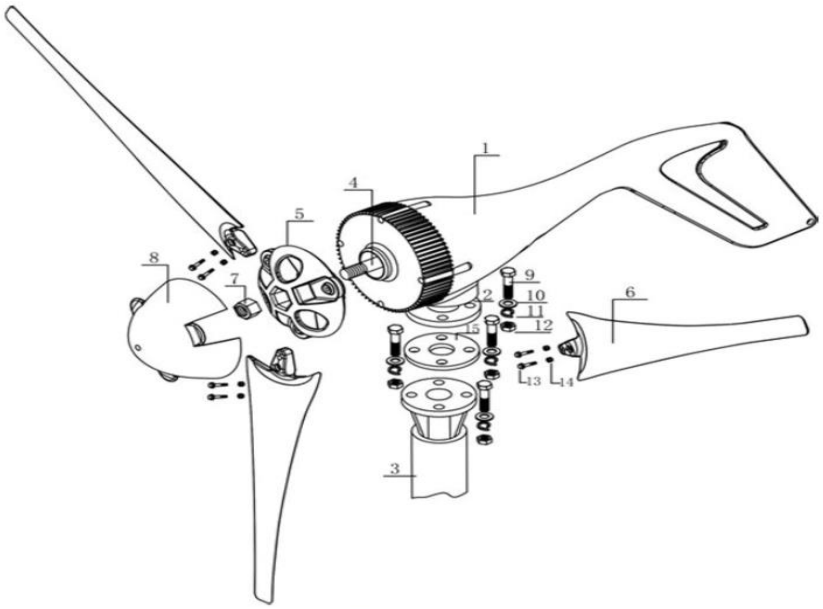


Figura 46: Componentes de um aerogerador comercial

Fonte: *AliExpress*

Legenda: 1 - *Wind Turbine Body*; 2 -Flange *plate*; 3 - *Steel pipe support*; 4 - *Wind turbine shaft*; 5 - *Wind wheel*; 6 - *Blade*; 7 - *Anti loose nut*; 8 - *Fairing*; 9 - *Bolt*; 10 - *Flat washer*; 11 - *Resilient washer*; 12 - *Screw cap*; 13 - *Stainless steel screws*; 14 – *Locking nuts*; 15 – *Rubber pad*

A segunda turbina é similar ao projeto do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), que possui o objetivo de promover o ensinamento sobre fontes de energias renováveis, obtendo compreensão e apoio para utilização mais ampla, com algumas adaptações. (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018)**.** A figura 21 ilustra o projeto do aerogerador IMT.

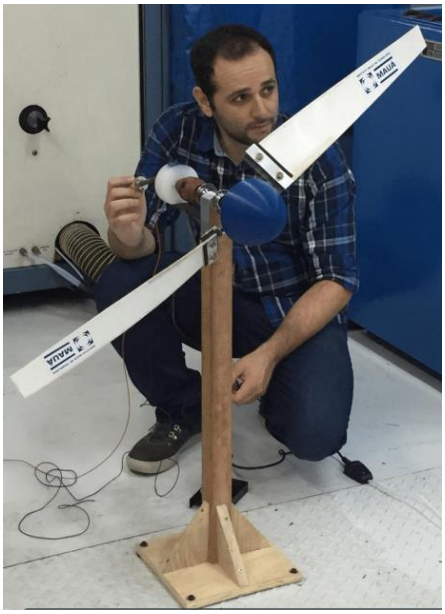


Figura 47: Projeto Aerogerador IMT

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

3.2. Turbina Projetada

Para o aerogerador do projeto do Instituto Mauá de Tecnologia, foram realizadas algumas modificações, em virtude de o intuito deste trabalho ser analisar os desgastes provocados pelo ambiente salino. A primeira modificação realizada foi a troca da base, que no projeto original é constituída de aço *ABNT* 1020 com uma capa de madeira, por uma base de aço inoxidável. Além dessa modificação, fizemos o uso das mesmas pás da turbina comercial, objetivando manter as condições no que diz respeito a aerodinâmica do gerador. Porém, devido ao curto espaço de tempo para a realização de uma segunda análise de campo, optamos por uma análise de desgaste laboratorial, através da exposição do equipamento em uma câmara *Salt Spray*, que potencializa o processo de degradação, simulando assim, em maior intensidade, a ação de um meio salino similar ao natural. Na figura 48 pode-se visualizar os componentes originais do projeto do aerogerador do Instituto Mauá. Já a figura 49 ilustra o aerogerador modificado para atender os objetivos deste trabalho.

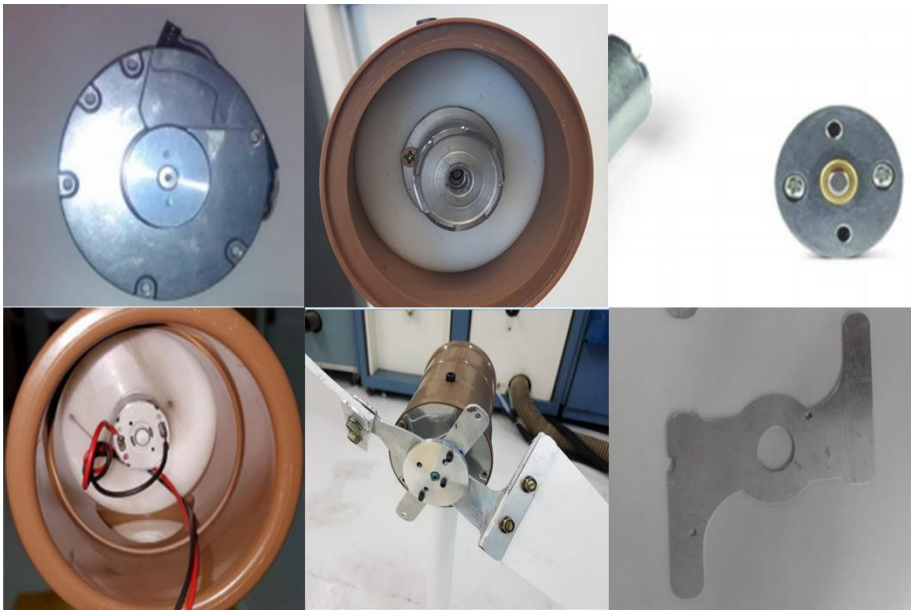


Figura 48: *Componentes aerogerador Instituto Mauá*

Fonte: Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo

Figura 49: Componentes do aerogerador modificado

Fonte: Elaboração dos autores

3.2.1. Modificações no projeto

Para a construção da turbina partindo do projeto da Microturbina Eólica – FAB LAB e IMT/ Manual do Mundo foi necessário a realização de algumas modificações para atender os objetivos deste trabalho, que consistem na análise de desgaste dos componentes quando expostos a ambientes salinos. Foram realizadas algumas modificações, tais como a modificação da haste e troca do motor, que serão explicados a seguir.

3.2.1.1. Modificação na haste

A haste original do projeto da Microturbina Eólica era constituída de aço ABNT 1020 com uma carcaça de madeira, fazendo-se necessário a substituição desse material por um material inoxidável. O material escolhido foi o aço *AISI* 304, em virtude de suas boas propriedades de resistência a corrosão e ductilidade.

3.2.1.2. Modificação no cubo do rotor e cubo do mancal HD

A modificação nos componentes do cubo do rotor e do cubo do mancal se deu apenas com a modificação dos materiais originais pelo aço *AISI* 304.

3.2.1.3. Modificação do fuso e do cubo de bicicleta

Para atender o objetivo deste trabalho foi realizada a modificação do fuso M8 por um eixo onde se encaixam dois rolamentos que se alojam em uma camisa. Já no cubo de bicicleta, a modificação realizada no cubo de bicicleta foi a substituição do mesmo por uma camisa onde se alojam o eixo com os dois rolamentos. O material escolhido foi o aço AISI 304, em virtude de suas boas propriedades de resistência a corrosão e ductibilidade.

3.2.1.4. Modificação motor gerador

No projeto original do LAB FAB foi utilizado um pequeno motor de impressora para a geração de energia, que foi substituído por um motor dínamo, de 2 *KW* e 220 V. A imagem a seguir ilustra o motor utilizado no projeto.

Figura 50: Motor Dínamo
Fonte: *Ali Express*

Os desenhos das modificações se encontram disponíveis no anexo II deste documento.

3.3. Local de instalação

O intuito deste capítulo é a instalação de um aerogerador em um sistema on grid, para ser utilizado em uma casa popular na orla do município de Angra dos Reis, a fim de suprir totalmente ou parcialmente a carga elétrica do imóvel.

Partiu-se da pesquisa do melhor local para instalação do aerogerador comercial, descrevendo com bases sólidas as informações adquiridas. Foi feito um estudo de avaliação da velocidade do vento do local escolhido para aplicação do projeto, realizado através da coleta de dados de velocidade do vento fornecidos por uma estação meteorológica próxima ao local da instalação.

Para dimensionar do sistema de aerogeradores, estimou-se o consumo de energia das cargas que serão atendidas. Após o dimensionamento, foi feito o balanço de energia entre a geração e carga, para avaliação do saldo energético do sistema. Por último, será apresentado o custo do projeto e o tempo de retorno desse investimento.

3.3.1. Característica do local selecionado

A escolha do local depende da avaliação de alguns parâmetros, porém o principal fator é a incidência de ventos, a região deve apresentar um bom potencial eólico. O estudo das características do local definirá o aproveitamento da energia eólica, e pode ser dividido em algumas etapas: (i) estudo do terreno e sua influência no comportamento do vento; (ii) estudo do vento; (iii) estudo da disposição dos aerogeradores e (iv) estudo da conexão das turbinas à rede elétrica para um sistema on grid.

Após pesquisas iniciais feitas utilizando-se o Altas Eólico do Rio de Janeiro, percebeu-se que apenas os bairros litorâneos teriam potencial eólico suficiente para a geração por aerogeradores.

Tendo ainda como objetivo focar no município de Angra dos Reis, foi usado dados coletados através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia para uma estação meteorológica, Localizada na Usina Nuclear de Angra dos Reis, aproximadamente a 11km do local escolhido para instalação da turbina eólica em que se entendia ter boas condições para geração.

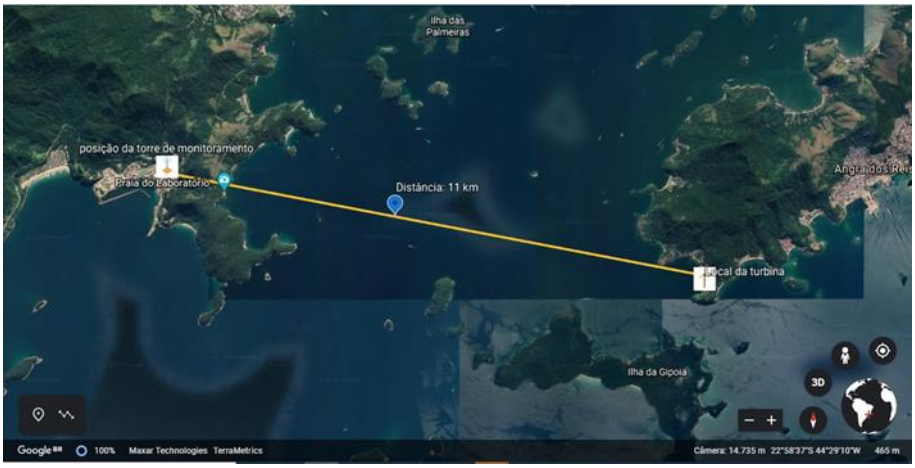


Figura 51: Localização da torre meteorológicas da Usina Nuclear de Angra dos Reis.

Fonte: http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth

Angra dos Reis foi descoberta pelo navegador Gonçalo Coelho no dia 6 de janeiro de 1502. Como era dia dos Reis Magos, recebeu este nome devido a enorme angra pontilhada de ilhas paradisíacas, montanhas, rios e florestas, além de um mar profundamente azul.

O local que se apresentou como otimista, de acordo com essa característica, faz com que a cidade seja banhada por ventos constantes durante todo ano. A média de velocidade do vento apresentada chega a 4,57 m/s, sendo teoricamente boa para a geração de energia eólica.

Angra dos Reis sofre influência das brisas marítimas de forma intensa devido à sua característica geográfica, como pode ser percebido na Figura 52.

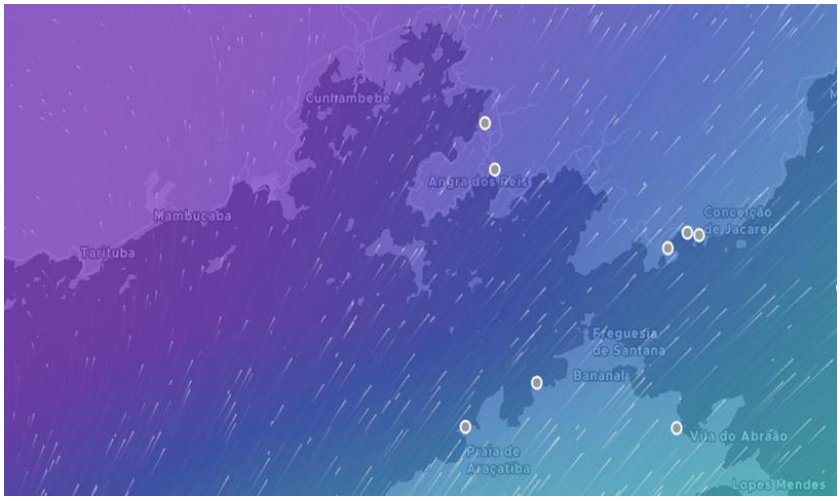


Figura 52: Gradiente de Velocidade dos Ventos sobre Angra dos Reis.

Fonte: *WINDFINDER*.

Os movimentos característicos do ar (terra-mar) nas costas, durante o dia e a noite dão lugar as brisas. O vento diurno, ou a brisa marinha é devido a uma diminuição do gradiente de pressão barométrica, como consequência do aquecimento diurno da camada inferior do ar que está em contato com a terra. Como a superfície do mar adjacente não se aquece com tanta intensidade, permanece relativamente mais fria.

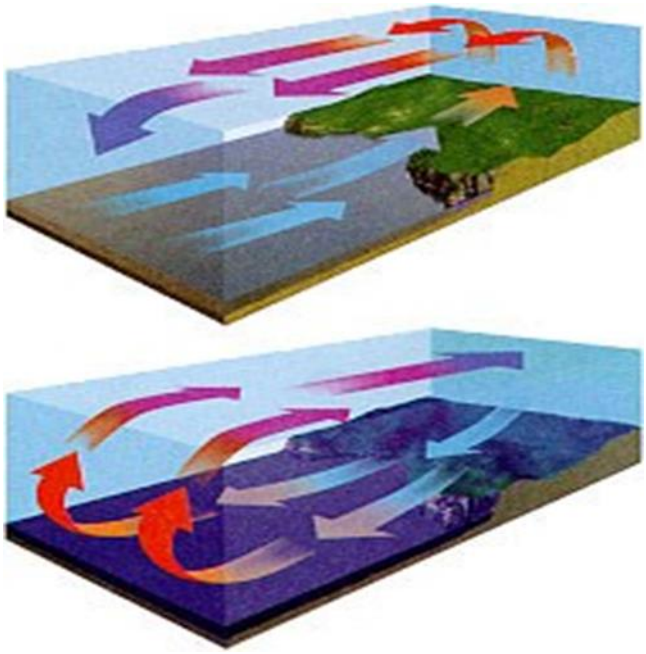


Figura 53: Esquema geral de um vento particular terra-mar e vice-versa (brisas)

Fonte: *SENTELHAS*; *ANGEOLOCCI*, 2020

Em Resposta ao gradiente de pressão local, o ar se dirige para a terra a baixa altura. A noite, o gradiente de temperatura se inverte devido ao mais rápido resfriamento da superfície do terreno. O gradiente de pressão é, agora, da terra para o mar, motivando um fluxo de ar para o oceano (a brisa terrestre).

As condições locais influem consideravelmente no potencial eólico de uma zona e pode acontecer em dois lugares mais próximos terem uma grande diferença de condições eólicas.

A orla de Angra dos Reis apresenta condições teoricamente boas para geração eólica com média de ventos razoável para geração, sendo local definido para a instalação do aerogerador.

Os dados coletados como a do gráfico da figura 54 indicam que a velocidade do vento em um período superior a 70% do tempo é superior a 4 m/s, duas vezes

maior do que a velocidade de inércia da maioria das turbinas eólicas de pequeno porte.

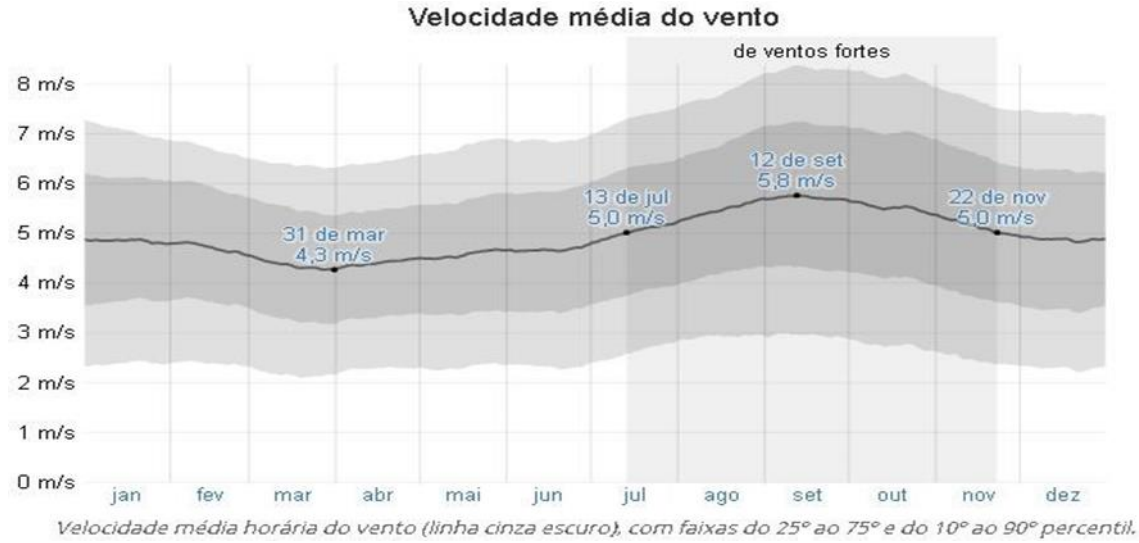


Figura 54: Velocidade Média dos Ventos Anual de Angra dos Reis,
Fonte: *WEATHERS- PARK*.

3.4. Exposição atmosférica a ambientes salinos

A corrosão atmosférica pode ser compreendida como um processo eletroquímico que causa deterioração em materiais metálicos quando estes estão submetidos à ação do ambiente. É considerada como uma das piores formas de ataque, podendo causar prejuízos piores do as outras formas de corrosão.

A agressividade do ambiente é indicada pela designação do tipo de ambiente como rural, urbano, industrial, marinho ou a combinação de todos esses. (*MONKEY*, 1992)

A atmosfera marinha é caracterizada por apresentar partículas finas de sais que são transportados pelos ventos e depositadas nos materiais. É considerado um dos ambientes mais corrosivos existentes.

A corrosão da atmosfera depende fundamentalmente dos fatores:

- Umidade relativa;
- Substâncias poluentes – particulados e gases;
- Temperatura;
- Tempo de permanência do filme eletrolítico na superfície metálica.

Além desses fatores devem ser considerados os fatores climáticos, como intensidade e direção dos ventos, variações cíclicas de temperatura e umidade, chuvas e insolação (radiações ultravioletas). (GENTIL, 2017)

A classificação da corrosão atmosférica também pode ser em função da umidade na superfície metálica, como seca, úmida e molhada. A corrosão atmosférica seca acontece em uma atmosfera isenta de umidade, sem qualquer presença de filme de eletrólito na superfície metálica, acarretando um lento processo de corrosão. A corrosão atmosférica úmida ocorre em atmosferas com umidade relativa menor que 100%, onde há a presença de uma fina camada de eletrólito na superfície do material, tendo o processo de corrosão dependente da umidade relativa e da higroscopicidade dos produtos de corrosão. Por fim, a corrosão atmosférica molhada se dá em ambientes cuja umidade relativa está próxima dos 100%, fazendo com que aconteça condensação na superfície dos metais, percebendo-se que a superfície dos materiais fica molhada, sendo observada principalmente em chuvas e névoas salinas depositadas na superfície metálica. (GENTIL, 2017)

A exposição dos aerogeradores deste trabalho acontecerá de duas formas distintas. A primeira delas foi a alocação da turbina comercial em um ambiente salino, na cidade de Angra dos Reis e a segunda forma foi submeter o projeto do aerogerador fabricado em uma câmara *Salt Spray*.

3.4.1. Alocação da Turbina Comercial

O aerogerador comercial que possui como característica a necessidade de uma baixa velocidade de vento para iniciar a geração, por volta de 2 m/s, possui 5 lâminas de fibra de vidro reforçada, auxiliado por uma estrutura otimizada e forma aerodinâmica, aumentando o coeficiente de energia eólica e a capacidade de geração de energia. Possui também um gerador permanente patenteado do ímã e estator especial, reduzindo eficazmente a resistência do torque e garantindo uma melhor estabilidade. Esse gerador tem uma tensão nominal de 12V, além de uma potência nominal de 1600W e sua carcaça é toda fabricada em fibra de alumínio. A figura 54 ilustra os componentes do aerogerador comercial.

Figura 55: Componentes do aerogerador comercial
Fonte:https://ru.aliexpress.com/item/1600-W-12-24-V-3-5/32978502462.html?spm=a2g0s.8937460.0.0.ee882e0ehG1lj0

O aerogerador foi submetido a montagem em campo para analisar os desgastes provocados pela ação salina em seus componentes, e a geração de energia elétrica no ambiente instalado. A instalação da turbina, foi realizada na cidade litorânea de Angra dos Reis, na Costa Verde do Estado do Rio de Janeiro. A escolha por este local se deu por fatores como: a presença de ambiente salino, que contribuiu para o objetivo do estudo, o livre acesso ao local da instalação, facilitando o processo de medição e controle e pela menor distância para acompanhamento, pois se compararmos a distância à capital do estado, Rio de Janeiro, necessitaríamos de ter um maior deslocamento.

O aerogerador ficou instalado à beira mar, em uma marina, com a presença de ventos oriundos do Oeste, pelo período de seis meses, contados entre os meses de julho de 2019 e janeiro de 2020, onde foram mensurados a velocidade e direção dos ventos, além do acompanhamento da geração de energia elétrica.

A figura 56 ilustra o aerogerador comercial instalado em Angra dos Reis.

Figura 56: Aerogerador instalado em Angras dos Reis

Fonte: Elaboração dos autores

3.4.2. Desmontagem da turbina comercial

Após o período de seis meses em que a turbina comercial ficou instalada em Angra dos Reis, foi realizada sua desmontagem para efetuarmos a análise de seus componentes, com o intuito de verificar a ação do tempo nas peças do aerogerador. Itens como parafusos, arruelas e rolamento foram os principais pontos identificados com desgaste. As figuras a seguir ilustram o desgaste dos componentes após a desmontagem da turbina comercial.

Figura 57: Desgaste dos parafusos da turbina comercial

Fonte: Elaboração dos autores

Figura 58: Desgaste do rolamento da turbina comercial

Fonte: Elaboração dos autores

Figura 59: Desgaste das arruelas de fixação da turbina comercial

Fonte: Elaboração dos autores

Figura 60: Desgaste da ponta de eixo da turbina comercial

Fonte: Elaboração dos autores

3.4.3. Alocação da Turbina Projetada em Câmara Salt Spray

O projeto construído através do Manual do Instituto Mauá foi realizado com o objetivo de promover a comparação da geração e dos desgastes provocados nos componentes metálicos em virtude da exposição a névoa salina. O aerogerador é

constituído de pás, torre, cubo do rotor; haste de fixação e nacele. As pás serão as mesmas utilizadas no aerogerador comercial, o motor foi reaproveitado de impressoras residenciais e os demais componentes foram fabricados em aço inoxidável 304.

O ensaio de corrosão por névoa salina, ou Salt spray, são ensaios realizados em equipamentos ou máquinas fechadas, em que as condições de realização do teste são controladas com o objetivo de fornecer aos materiais metálicos uma exposição a um ambiente corrosivo sem promover alterações nos mecanismos de corrosão (*ROBERGE*, 2000). Esses ensaios realizados em laboratórios são realizados para simular a aplicação dos materiais em situações reais de utilização com o objetivo de estimar a corrosão dos materiais sem que seja necessário aguardar o tempo de exposição em ambientes naturais (*ROBERGE*, 2000). A figura 60 ilustra uma máquina de testes por névoa salina.

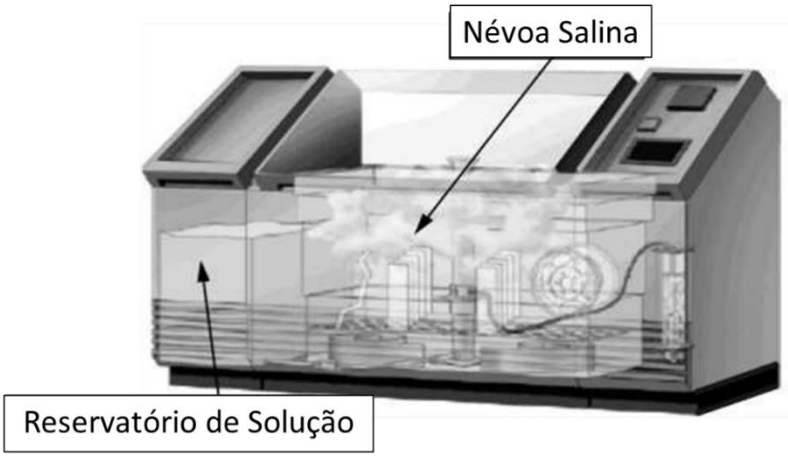


Figura 61: Máquina de teste por névoa salina

Fonte: COUTINHO, 2019

O ensaio Salt Spray é a solução mais utilizada em câmaras fechadas ou em gabinetes, cujas premissas de funcionamento estão de acordo com as normas brasileiras e internacionais, tais como a ISO 9227, DIN 50 021 e ASTM B 117. O teste possui como metodologia introduzir uma solução atomizada, spray, em uma câmara fechada e vedada, onde os componentes alocados no seu interior são atacados em locais e ângulos específicos (*ROBERGE*, 2000). Resumidamente, esse tipo de ensaio tem por objetivo a tentativa de se aproximar das condições encontradas nas atmosferas marítimas através de uma solução em spray a base de cloreto de sódio a uma concentração de 5% de solução em 95% de água destilada ou desionizada (ASSIS, 1983).

Para tanto os componentes foram limpos imediatamente antes dos testes, de forma a eliminar qualquer tipo de impureza que possa ser considerada como contaminante e, consequentemente, influenciar nos resultados dos testes. A limpeza foi feita por imersão em solução e lavada com água corrente. Esta imersão ocorreu em solvente composto por acetona em uma mistura 1:1 de etanol, sendo posteriormente seca por um jato de ar seco e limpo. Após esta limpeza foi feita uma nova pesagem para se verificar se houve alguma variação na massa dos corpos de prova a serem trabalhados. Também foi realizada a pesagem dos componentes confeccionados por cinco vezes em uma balança digital de precisão, com unidade de precisão de mais ou menos 0,01 gramas. A seguir são apresentadas as médias aritméticas das medições de cada componente.

Componente	**Peso (gramas)**
Cubo do rotor	444,37
Fuso M8	157,83
Placa de fixação da pá	54,20
Placa superior de fixação da pá	31,40
Cubo mancal HD	251,35

Tabela 9: Pesagem dos componentes do aerogerador projetado antes do ensaio *Salt Spray*

Fonte: Realização dos autores

Em seguida os componentes foram inseridos no interior da Câmara *Salt Spray*, para a realização do ensaio com pulverização, de forma a termos condições mais próximas possíveis da realidade. A pulverização foi realizada com o uso de água do mar, recolhida na região de Angra dos Reis/RJ e as peças foram expostas por um período de 72 horas. A figura 62 ilustra a câmara em que foram realizados os testes do aerogerador.

Figura 62: Câmara de realização do Ensaio

Fonte: COUTINHO, 2019.

3.4.4. Desmontagem da turbina Projetada

Após o período de 72 horas, os componentes do aerogerador que foram submetidos ao ensaio na câmara de *Salt Spray* foram retirados para serem submetidos a análise de corrosão. Itens como as placas de fixação da pá, o cubo do rotor, cubo do mancal HD foram os componentes que mais apresentaram desgastes, mostrado nas figuras abaixo.

Figura 63: Placa de Fixação da Pá

Fonte: Elaboração dos autores

Figura 64: Mancal do rotor

Fonte: Elaboração dos autores

Figura 65: Rolamento do mancal

Fonte: Elaboração dos autores

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise de Corrosão

A corrosão nos materiais pode acontecer por diferentes formas, variando das condições uniforme a localizada, sendo a segunda condição apresentada como o ataque mais perigoso, pois se dá pela dissolução local, atingindo pequenas áreas e aumentando a corrosão metálica. Esse processo acarreta formação de cavidades, irregularidades, relevos e outros defeitos na superfície do material, contribuindo para ocorrência de falhas nos produtos. (*CORDARO*; *NAKAZATO et al*., 2002) (*CORDARO; NAKAZATO et al*., 2003)

A verificação visual ou a medida de perda de massa não são consideradas técnicas adequadas para quantificação e a qualificação dos materiais que apresentam corrosão localizada nos diversos tipos de ambientes, principalmente os mais resistentes como os aços inoxidáveis, aços carbono, e outras ligas (*CORDARO; NAKAZATO et al*., 2001).

Neste trabalho, a realização da análise de corrosão se dará através de verificações laboratoriais, como medição da perda de massa, análise pelo Microscópio Eletrônico de Varredura ou MEV, com o intuito de verificar os desgastes e as mudanças microestruturais provocadas após os aerogeradores estarem submetidos a exposição salina, seja a natural, como foi o caso da turbina comercial ou através da exposição à Câmara *Salt Spray*.

4.1.1. Perda de Massa

A avaliação da corrosão por perda de massa se caracteriza por quantificar através da diferença entre a massa inicial de um corpo de prova (CP) antes do processo de corrosão com sua massa ao final do processo de experimento. Ou seja, é realizada a medição do peso dos componentes metálicos do aerogerador através de uma balança digital de precisão antes e depois do experimento para verificar a perda de massa através da corrosão.

Para a realização do ensaio, os componentes metálicos da turbina devem estar totalmente limpos e secos e após o experimento os corpos de prova devem ser submetidos a um processo de limpeza, que visa a eliminação de graxas e óleo, e decapagem química, que tem por objetivo retirar a camada de óxido formada na superfície do material para impedir erros de medição da massa do CP. Para o processo de limpeza química os corpos de prova são imersos em um recipiente que contém uma solução específica para aço inox, seguidos pela decapagem química, de acordo com a tabela 10.

Material	**Solução**	**Tempo**
Aço Carbono	**Solução de Clarke**	1 a 25 min
	Ácido clorídrico (HCl): 1L (Sb_2O_3): 20g Cloreto estanoso ($SnCl_2$): 50g	
Aço Inox e aço inox duplex	100 ml de ácido nítrico (HNO_3) 20 ml de ácido hidrofluorico (HF), reagindo com água para formar 1000 ml	5 a 20 min

Tabela 10: Soluções químicas para aços

Fonte: *ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS*, 1976.

Os ensaios foram realizados no laboratório de metalografia no UniFOA, utilizando para medição dos componentes uma balança de precisão digital, com unidades em gramas e precisão de mais ou menos 0,01 gramas.

Após a realização dos processos de limpeza e decapagem, os componentes são lavados em água corrente e secos através de um secador, para após ser realizada a medição de massa.

Os valores de massa iniciais foram realizados antes do processo de submissão à câmara de *Salt Spray* e os valores de massa após a realização do ensaio são exibidos na tabela a seguir.

Componente	Peso (gramas)
Cubo do rotor	444,35
Fuso M8	157,82
Placa de fixação da pá	54,19
Placa superior de fixação da pá	31,39
Cubo mancal HD	251,33

Tabela 11: Pesagem dos componentes do aerogerador projetado depois do ensaio na câmara *Salt Spray*

Fonte: Realização dos autores

A partir dessa análise, conhecendo a taxa de corrosão do material inserido num determinado meio, pode-se mensurar a vida útil de uma peça ou equipamento. (GENTIL, 2017)

A norma *NACE RP* 0775 (2005), estabelece a classificação para a taxa de corrosão uniforme como mostrado na tabela.

Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	Baixa
0,025 a 0,12	Moderada
0,13 a 0,25	Alta
>0,25	Severa

Tabela 12: Classificação de corrosividade

Fonte: Norma Nace Standard RP0775, 2005.

De acordo com a norma *NACE RP 0775* (2005), a taxa de corrosão uniforme pode ser determinada em mm/ano, sendo definida pela seguinte equação:

$$T_c = 3{,}65.\,10^5.\frac{\Delta m}{S.\,t.\,\rho}$$

Equação 20: Equação Taxa de Corrosão Uniforme

Onde:

Tc = Taxa de corrosão uniforme (mm/ano);

Δm =Variação de massa (g);

S = Área do corpo de prova sujeita ao ataque corrosivo (mm²)

t = Tempo de exposição em dia (d);

ρ = Massa específica do material do corpo de prova (g/cm³)

Após a realização dos cálculos, chegamos a seguinte conclusão que está ilustrada na tabela abaixo.

Componente	Corrosividade
Cubo do rotor	Alta
Fuso M8	Alta
Placa de fixação da pá	Moderada
Placa superior de fixação da pá	Moderada
Cubo mancal HD	Moderada

Tabela 13: Valores de corrosividade

Fonte: Realização dos autores

4.1.2. Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) tem como princípio de funcionamento a utilização de um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para a exploração da superfície da amostra, verificando ponto a ponto, por linhas sucessivas e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica cuja varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente. (*DEDAVID*, 2007)

A figura gerada a partir do sinal captado na varredura eletrônica podem possuir diferentes característica, pois a figura resulta da amplificação do sinal obtido de uma interação entre o feixe eletrônico e o material do corpo de prova. A amostra pode emitir uma faixa de 12 sinais, dos quais os mais utilizados para obtenção de figura são oriundos dos elétrons secundários ou dos elétrons retro espelhados (*DEDAVID*, 2007).

O equipamento convencional possui uma coluna óptico-eletrônica adaptada a uma câmara com porta amostra aterrado, sistema eletrônico, detectores e sistema de vácuo (*DEDAVID*, 2007).

A seguir temos uma representação esquemática dos componentes básicos de um microscópio eletrônico de varredura.

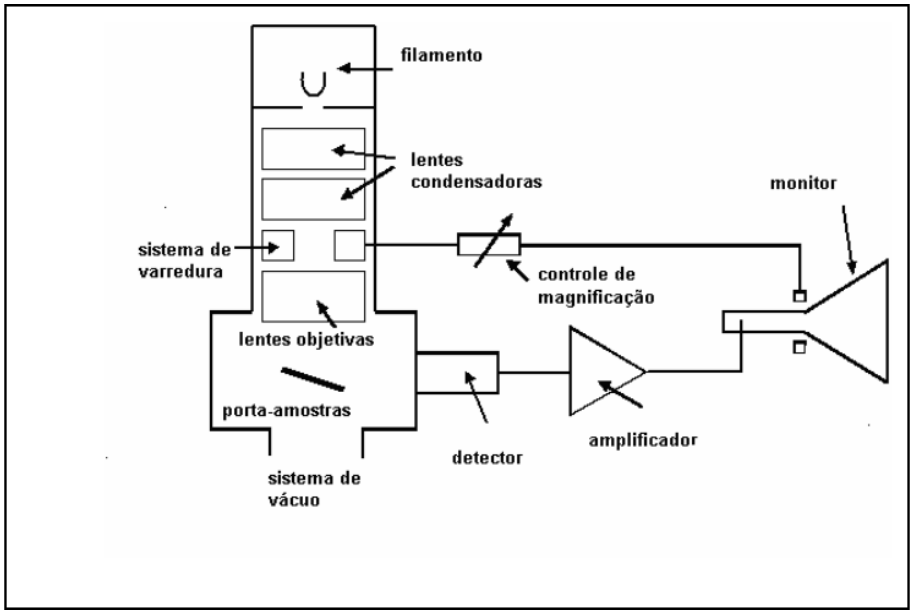


Figura 66: Representação esquemática dos componentes de um microscópio eletrônico de varredura.
Fonte: *DEDAVID*, 2007

Nas aplicações metálicas, o MEV é um dos principais instrumentos para a verificação dos materiais, principalmente na observação da morfologia, constituição e distribuição das fases presentes. Também podem ser analisadas inclusões e trincas, discordâncias e maclas, além da espessura e profundidade de camadas superficiais (*DEDAVID*, 2007).

Realizar uma preparação adequada da amostra garante a boa reprodução e aumenta a confiabilidade da análise. (*GOLDSTEIN*; *NEWBURRY et al*., 1992). Para a observação no MEV, a amostra deve estar livre de umidade e limpa, devendo ser condutora e resistente ao feixe de elétrons. As técnicas relacionadas com preparação de amostras para a observação por microscopia óptica ou eletrônica de varredura são denominadas de técnicas metalográficas (*METAL HANDBOOK*, 1985)

Para a preparação das amostras é necessário um local apropriado e limpo. Existe a recomendação de se utilizar água corrente para a limpeza da amostra, pois a água evita que as partículas removidas durante o processo das técnicas metalográficas se acumulem na superfície da amostra, contaminando e afetando a superfície analisada.

A etapas de preparação das amostras para análise no microscópio eletrônico de varredura são basicamente cinco, começando pela seleção da amostra, que deve

seguir um padrão, contendo dimensões entre 100 e 200 mm de diâmetro. A segunda etapa é o corte da amostra, que é realizado através de máquinas com discos abrasivos comuns ou diamantados. A seguir temos o embutimento, que consiste na fixação da amostra em resina curada a frio ou em baquelite para auxiliar no manuseio durante as etapas seguintes da preparação de amostras. A quarta etapa é lixamento, que consiste na aplicação de lixas de diversos tamanhos de grãos cerâmicos para a remoção de materiais metálicos, utilizando uma sequência granulométrica da lixa, começando com as lixas de 180 grão, passando pela de 240, 280, 320, 400 e 600 grãos, podendo chegar a utilizar a de 1000 e 1200 grãos em casos especiais. Por último vem o polimento, com o objetivo de remover qualquer marca deixada pelas lixas. Existem dois tipos de polimentos indicados na preparação de amostras metálicas. São eles o polimento mecânico e o polimento eletrolítico. O primeiro é através de uma máquina que possui os discos rotativos protegidos com um pano e com abrasivos, tal como a alumina. O segundo tipo é realizado em uma cuba fechada que possui um orifício na qual é fixada a face da amostra a ser polida, deixando-a em contato com o eletrólito. A seguir é aplicada uma corrente elétrica que faz com que uma fina camada da amostra seja removida (*DEDAVID*, 2007).

Após todas essas etapas é realizado o ataque químico, que consiste em submeter a amostra a um ataque químico, com o intuito de demarcar os contornos de grão, além de promover aumento do contraste, possibilitando a melhor visualização e localização durante a análise. Na tabela a seguir, temos a indicação de alguns reagentes mais utilizados na metalografia de materiais metálicos.

Nome do Reagente	Composição	Método Aplicado	Materiais indicados
Nital (2%)	2 ml HNO_3 + 98 ml álcool etílico	Imersão	Aço carbono em geral
Picral (5%)	5gr Ácido Pícrico + 100ml Álcool Etílico	Imersão	Aços Carbono em Geral tratados termicamente
Ácido Oxálico	10gr Ácido Oxálico + 10ml H_2O	Eletrolítico em 200/400 mA	Aços Inox Austeníticos
Marble	4g CuSO4 + 20ml HCl + 20ml H2O	Imersão ou Esfregar	Aços Inox Austeníticos End. Precipitação (AISI 660)
Kalling (sem água)	5gr CuCl2 + 100ml HCl + 100ml Álcool Etílico	Imersão ou Esfregar	Aços Inox Austeníticos End. Precipitação (AISI 660), e Aços AISI 400

Tabela 14: Soluções usuais para exame macrográfico.

Fonte: Adaptação: https://testmat.com.br/2013/05/30/laboratorio-metalografia-testmat-reagente/

A realização do ensaio aconteceu no Laboratório de Caracterização dos Materiais do UniFOA, através do microscópio eletrônico de varredura *HITACHI TM3000*, onde foi observado a característica das regiões que apresentaram pontos de oxidação, utilizando os aumentos de 2000, 4000 e 10000 vezes. A figura 67 ilustra o equipamento *HITACHI TM3000* do laboratório do UniFOA.

Figura 67: Equipamento HITACHI TM3000

Fonte: Tirada pelos autores

4.2. Geração de energia

Como descrito anteriormente, a cidade de Angra dos Reis possui uma condição teoricamente boa para a geração de energia eólica, por possuir ventos com boas velocidades de geração. Assim sendo, foi realizado um levantamento de geração de energia elétrica para alimentar uma pequena residência.

4.2.1. Levantamento de carga

A carga a ser alimentada pelo aerogerador é de uma casa de pequeno porte com poucos eletrodomésticos. A tabela a seguir mostra um quadro do consumo de energia do consumo de energia de uma residência, dividida de acordo com os cômodos da casa. Segundo levantamento realizado pela EPE (Empresa de pesquisa Energética), o consumo médio de energia nas residências brasileiras e de 160kwh por mês. Para tanto o projeto procura se aproximar desse valor tomando como base uma busca no PBE (Programa Brasileiro de etiquetagem), do Inmetro, onde cada aparelho de uma residência pode ser consultado seu consumo de energia, desde que devidamente certificado.

Dependência	Cargas	Condições de uso	Tempo de uso (h/dia)	Potência (w)	Consumo (w/h)
Sala	Iluminação	Temporário	6	24	144
	Televisão	Temporário	6	90	540
	Ventilador de teto	Esporádico	6	130	780
	Receptor de TV (stand by)	Permanente	16	20	320
	Receptor de TV (em uso)	Temporário	4	50	200
Quarto 1	Iluminação	Temporário	2	12	24
	Ventilador de teto	Temporário	7	130	910
Banheiro suíte 1	Iluminação	Temporário	1	9	9
Quarto 2	Iluminação	Temporário	2	12	24
	Ventilador de teto	Temporário	7	130	910
Banheiro suíte 2	Iluminação	Temporário	1	9	9
Corredor	Iluminação	Esporádico	1	9	9
Lavabo	Iluminação	Esporádico	1	9	9
Cozinha	Iluminação	Permanente	3	30	90
	Micro ondas	Esporádico	0,01	1200	12
	Geladeira	Permanente	6	135	810
Área externa / Serviço	Iluminação	Permanente	12	36	432
	Ferro de passar	Esporádico	1	1000	1000
	Máquina de lavar	Esporádico	1	550	550

Tabela 15: Quadro de cargas

Fonte: Adaptado da internet

Segundo o quadro de cargas, a casa possui uma carga total de 6,084 kW, apresentando um consumo médio por hora de 253 Wh.

4.2.2. Cálculo teórico de potência

Como dito anteriormente, para a realização do cálculo da potência teórica do vento, precisamos levar em consideração as perdas provenientes do processo. A seguir será demonstrado como se calcular. As perdas virão primeiramente do coeficiente de potência da turbina (CP), também do gerador (ηg).

Por último deve-se considerar as perdas elétricas do conversor de potência (ηc). Sendo assim a fórmula da potência do vento necessária se dá por:

$$\text{Pvento} = \frac{\text{Pmédia}}{\text{Cp}.\,\text{ŋg}.\,\text{ŋc}}$$

Equação 21: Potência do vento

4.2.2.1. Potência disponível no vento

Neste trabalho será utilizado uma turbina comercias, já tratada nos capítulos anteriores.

Os estudos para o dimensionamento dos números de turbina se iniciam a partir da potência necessária para suprir a carga, que foi apresentado anteriormente, resultaram em um consumo médio de 253 W.

O cálculo dos números de turbina é realizado a partir do conhecimento da potência necessária para suprir a carga e da velocidade média do vento.

A potência que o vento deverá suprir, deverá também levar em consideração as perdas do sistema. As perdas virão primeiramente do coeficiente de potência da turbina (CP), também do gerador (ηg).

Portanto,

$$\text{Pvento} = \frac{253}{0{,}16245} = 1.557{,}4\ \text{W}$$

Equação 22: Potência do vento

A turbina terá que captar 1.557,4 W de potência do vento para uma velocidade média de 4, 57m/s. Embora o aerogerador comercial adotado tenha 1.600 w de potência nominal, ele gera apenas 562,5 w à velocidade média.

Considerando-se apenas o seu uso na velocidade média do vento, seria necessário o uso de 3 aerogeradores, tendo ainda uma pequena folga de 130 w, que

será utilizado como margem de segurança. Para o perfil à carga total, o sistema de aerogeradores supre 108 % da carga.

4.3. Viabilidade Econômica

Realizar um estudo de viabilidade econômica em um projeto é tão importante quanto realizar um estudo de viabilidade técnica. Ao realizar esses estudos, consegue-se enxergar todas as particularidades de cada projeto, seja técnica ou econômica, de modo a saber quais serão os custos estimados de instalação, com aquisição de equipamentos e materiais e os custos relacionados à operação e manutenção destes equipamentos. (DUTRA, 2001)

No estudo de construção de um gerador eólico de pequeno porte, como o modelo idealizado pelo LAB FAB com algumas alterações realizadas, precisamos estimar os valores gastos para a construção da análise econômica dele. A tabela a seguir, exibe os valores gastos com a aquisição dos materiais estruturais para a construção do gerador eólico. (Fab Lab IMT/Manual do Mundo, 2018)

Tipo de Componente	Material de fabricação	Preço (R$)
Placa superior de fixação da pá	Aço Inox 304	58,00
Fuso M8	Aço Inox 304	104,00
Cubo mancal de HD	Aço Inox 304	78,00
Cubo do rotor	Aço Inox 304	63,00
Base metálica	Aço Inox 304	230,00
Placa de fixação da pá	Aço Inox 304	98,00
Pá	Fibra de Carbono	400,00

Tabela 16: Relação de custos dos componentes do Gerador eólico

Fonte: Criação dos autores

Como todo gerador eólico, faz-se necessário a utilização de componentes eletrônicos para geração e armazenamento da energia gerada. Neste projeto foi utilizado uma turbina de potência de 2000 W geração e uma bateria de 12 V para armazenamento. A tabela 17 apresenta o custo de aquisição dos materiais eletrônicos.

Tipo de Componente	Característica	Valor (R$)
Turbina	2000 W	1200,00
Bateria	12 V	400,00

Tabela 17: Custo de aquisição dos componentes eletrônicos do aerogerador

Fonte: Criação dos autores

4.3.1. Custo do Projeto

A tabela a seguir demonstra o custo relacionado ao projeto.

Item	Unidades	Custo
Aerogerador	3	R$ 2.923,05
Imposto de importação	3	R$ 1.121,79
Mastro	3	R$ 450,00
Medidor Bidirecional	1	R$ 400,00
TOTAL		R$ 4.894,84

Tabela 18: Tabela de custo

Fonte: Elaboração dos autores

Essa casa tem um consumo mensal de aproximadamente 187kWh, de acordo com a tarifa amarela da Enel (concessionária de distribuição de energia de Angra dos Reis) de R$ 0,8898, resultando em aproximadamente R$ 166,39 por mês.

4.3.2. Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno

Determinar a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL) é uma necessidade do projeto, pois os resultados obtidos determinam a viabilidade ou não de uma atividade. Na tabela a seguir, estão discriminados a forma de cálculo da TIR e do VPL.

CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO	R$ 4.894,84
ESTIMATIVA DE VALOR GASTO (ANO)	R$ 1.996,68
TAXA MÍNIMA A SER PAGA ANUAL	R$ 747,36
TMA DESEJADA	5%
HISTÓRICO DE REAJUSTE MÉDIO (a.a.)	3,93%

Tabela 19: Considerações para definição do VPL e da TIR

Fonte: Elaboração dos autores

Considerando os inputs iniciais e definida a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) a 5%, devemos verificar o valor presente (PV) através do cálculo de juros compostos. Para esse projeto foi considerado um período de 5 anos para essa verificação, de acordo com a tabela seguir.

Valor Presente (ano)	Valor (R$)
PV1	R$ 1.189,83
PV2	R$ 1.177,70
PV3	R$ 1.165,70
PV4	R$ 1.153,82
PV5	R$ 1.142,07
SOMATÓRIO PV	R$ 5.829,12

Tabela 20: Valor Presente

Fonte: Elaboração dos alunos

A seguir, verificamos o valor economizado pelo mesmo período de tempo calculado no valor presente, através da tabela abaixo.

ANO	**REAJUSTE NA TAXA MÍNIMA A SER PAGA**	**REAJUSTE NO CUSTO**	**ESTIMATIVA DE VALOR GASTO (ANO)**
1	R$ 1.996,68	R$ 747,36	R$ 1.249,32
2	R$ 2.075,15	R$ 776,73	R$ 1.298,42
3	R$ 2.156,70	R$ 807,26	R$ 1.349,45
4	R$ 2.241,46	R$ 838,98	R$ 1.402,48
5	R$ 2.329,55	R$ 871,95	R$ 1.457,60

Tabela 21: Valores de economia

Fonte: Elaboração dos autores

Dessa forma, chegamos aos seguintes valores para TIR e VPL:

VPL	R$ 934,28
TIR	11,94%

Tabela 22: Resultados VPL e TIR

Fonte: Elaboração dos autores

Como ambos os valores encontrados são positivos, conclui-se que o projeto é economicamente viável.

4.3.3. Tempo de Retorno - Payback

Mesmo que o sistema tenha sido calculado para suprir 100% da necessidade casa, para cálculo do tempo de retorno é necessário diminuir no valor da conta a disponibilidade cobrado pela Enel. Supondo que a disponibilidade seja de 70 kWh, temos um valor aproximado de R$ 62,28, descontando esse valor mensal da conta de luz, e dividindo o custo total do sistema por esse valor, teremos o tempo de retorno do projeto, que será de aproximadamente 4 anos.

$$TR = \frac{4.894,84}{166,39-62,28} = \frac{47,016}{12} = 3,92 \text{ anos}$$

5. CONCLUSÃO

Através dos experimentos realizados foi possível atingir o objetivo do estudo de estudo de viabilidade técnico e econômico para especificação e implementação de um microaerogerador. Inicialmente, foi preciso realizar a compra da turbina comercial, para depois efetuar a instalação dela em um ambiente salino, na cidade de Angra dos Reis, local de elevada exposição à maresia, para após o período de 6 meses de exposição, verificar o desgaste de seus componentes.

Em seguida foi realizada a construção de um projeto de aerogerador similar ao feito pelo Instituto Mauá de Tecnologia, com algumas adaptações, tais como, a troca do material de composição dos componentes para o aço inoxidável *AISI* 304. Após isso, a nova turbina foi submetida ao ensaio em uma câmara *Salt Spray*, com o objetivo de verificar o comportamento dos aços em um ambiente salino, de maneira muito similar a uma exposição real. Também foram realizados verificações de perda de massa no aço inox, além da realização da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Depois dos ensaios, chegamos à etapa de verificação da geração de energia elétrica com o intuito de alimentar uma residência de pequeno porte. Foram realizados cálculos levando em conta os eletrodomésticos mais básicos e foi encontrado a necessidade da instalação de três turbinar para conseguir atingir esse objetivo.

Posteriormente, uma análise econômica foi levantada, considerando os custos de fabricação e o tempo de retorno do investimento da implementação, chegando a um valor próximo a quinze mil reais para a instalação e um período de aproximadamente 4 anos para o *payback* do projeto.

6. SUGESTÕES FUTURAS

Para a realização de trabalhos futuros, sugerimos a utilização de um material de melhor qualidade na construção dos componentes do aerogerador, como o aço *AISI* 316L, por possuir melhores características que o aço *AISI* 304. Também sugerimos deixar a turbina exposta ao ambiente real por um período de tempo maior, cerca de 1 ano. Além disso, sugerimos o dimensionamento do projeto em um sistema *off grid*.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ABNT NBR 8094: julho 1983. Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina. Jul 1983.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, 2014. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/biblioteca/dowloads/livros/caderno-tematicomicroeminigeracao.pdf . Acesso em 10 mai. de 2020.

[3] ALDABÓ, Ricardo. Energia eólica. São Paulo: ed. Artliber, 2005.

[4] AMARANTE, O. A. et al. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília: MME; Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf >. Acesso: 25 mai. 2020

[5] ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3ª ed. Brasília: Aneel, 2008.

[6] ANEEL. Leilão de Energia. 2019. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/leilao-de-energia-garante-investimento-de-r-11-2-bilhoes/656877?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_XGPXSqdMFHrE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D3 >. Acesso em: 10 mai. 2020.

[7] ARAI, H. et alii. Theoretical analysis of susceptibility of ferritic stainless steel to intergranular corrosion caused by welding. Transaction of JWRI, v. 16, n. 1, p. 131-137, 1987.

[8] ARAÚJO, A. M. Fundamentos da Geração Eólica. Disponível em: http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=Controle+Aerodin%C3%A2mico+de+Pot%C3%AAncia&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ufpe.br%2Fmecfluamb%2Fresources%2FFundamentos%2520da%2520Geracao%2520Eolica.pps&ei=6Rd2UaypHvTK0gH55IAo&usg=AFQjCNGuASgDeDN3a5TQA0fdM-gLZMpc-Q . Acesso em: 12 de mai. de 2020.

[9] ASM INTERNATIONAL. ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys. 1a Edição. Materials Park - OH: ASM International, 2001. ISBN 0-87170-726

[10] ASM INTERNATIONAL. ASM Specialty Handbook – Stainless Steels. First printing, J.R. Davis, Ohio pp. 3-12, Dec.1999.

[11] ASM, Metals Handbook, vol. 13. Corrosion, 9th ed. Materials Park, Ohio, 1987 pp 1200 - 1315.

[12] ASSIS, S.L. Estudo Comparativo de Ensaios Acelerados para Simulação da Corrosão Atmosférica. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN. 2000.

[13] ASTM B-117; Methods of Salt Spray (Fog) Testing. Annual Book of ASTM Standards, vol. 03.02, (Philadelphia, PA: ASTM) – 2003. Disponível em: http://www.galvanizeit.com/uploads/ASTM-B-117-yr11.pdf. Acesso em 07/05/2020.

[14] Atlas Eólico do Estado do Rio de Janeiro. 2002. Governo do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

[15] BOND, A.P. Mechanism of intergranular corrosion in ferritic stainless steels. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, v. 245, p. 2127-2134, 1969.

[16] BRITO, PAULO. Análise e viabilidade de projetos de investimentos. São Paulo: Atlas, 2003, 100p.

[17] CALLISTER JR., WILLIAM D., Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução, 1a ed., Rio de Janeiro, LTC, 2002, ISBN: 85-216-2188-5

[18] CHIAVERINI, V., Aços e Ferros Fundidos, 7ª ed., Publicação da Associação Brasileira de metais, 2005, pp. 381-440.

[19] CODARO, E.N., NAKAZATO, R.Z., HOROVISTIZ, A.L., RIBEIRO, L.M.F., RIBEIRO, B., HEIN, L.R.O., “An image processing method for morphology characterization and pitting corrosion evaluation”, Material Science and Engineering A, v. 334, n. 1-2, pp. 298, 2002.

[20] CODARO, E.N., NAKAZATO, R.Z., HOROVISTIZ, A.L., RIBEIRO, L.M.F., RIBEIRO, B., HEIN, L.R.O., “An image analysis of pit formation on Ti-6Al-4V”, Material Science and Engineering A, v. 341, pp. 1- 2202, 2003.

[21] CODARO, E.N., NAKAZATO, R.Z., HOROVISTIZ, A.L., RIBEIRO, L.M.F., RIBEIRO, B., HEIN, L.R.O., “Evaluation of pitting morphology of Ti-6Al-4V after corrosion testing”, XVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise, pp. 135-136, 2001.

[22] COUTINHO, CARLOS BOTTREL, Tecnologia mecânica. Processos de fabricação e tratamento. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, V.2. 1977. Materiais metálicos para engenharia. Belo Horizonte: QFCO, 1992.

[23] COUTINHO, L. S. Construção de Equipamento Gerador de Névoa Salina (Salt Spray) para execução de ensaios acelerador de corrosão. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, Volta Redonda, 2019.

[24] DALMAZ, A. Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para a geração de eletricidade em Santa Catarina. Florianópolis/SC, 175 p., Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

[25] Dedavid, Berenice Anina, Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores [recurso eletrônico] / Berenice Anina Dedavid, Carmem Isse Gomes, Giovanna Machado. – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

[26] DEMO, J.J. Mechanism of high temperature embrittlement and loss of corrosion in resistance in AISI type 446 stainless steels. Corrosion, v.27, n. 12, p. 531-544, 1971.

[27] DILLON, C. P; Corrosion Resistance of Stainless Steels, Marcel Dekker, Inc., NY, 1995.

[28] DIN 50 021; Salt Spray Testing – 1975. Disponível em:

[29] DUTRA, Aldo Cordeiro; NUNES, Laerce Paula. Proteção Catódica: Técnica de combate à corrosão. 5. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2006. 372p

[30] DUTRA, R.M. Viabilidade Técnico ¬Econômico da Energia Eólica Face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro. Rio de Janeiro: PPE/COPPEIUFRJ, 2001. Dissertação. (Mestrado)

[31] DUTRA, Ricardo, Energia Eólica - Princípios e Tecnologia. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf >. Acesso em: 20 out. 2019.

[32] ELIYAN, Faysal Fayez et al. Interpreting the Passivation of HSLA Steel from Electrochemical Corrosion Investigation in Bicarbonate-Oil Aqueous Emulsions. International Journal of Electrochemical Science., p. 3026-3038. fev. 2013.

[33] FOLKHARD, E. Welding metallurgy of stainless steels. Springer-Verlag, 1988, p. 103 - 110, 116 -144, 125,130,178

[34] FONTANA, MARS G. Corrosion Engineering, 3ª ed. Singapura: McGraw-Hill, 1986.

[35] FOX, R W; MCDONALD, A T. Introdução à mecânica dos fluidos. [S.l.]: LTC, 2001. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=tl8xtwAACAAJ.9788521612612

[36] GENTIL, VICENTE. Corrosão. 6ª. ed. – [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

[37] GITMAN, Lawrence J. Princípios de Administração Financeira. 7a ed. São Paulo: Harbra, 2002.

[38] GITMAN, LAWRENCE. Princípios da administração financeira. São Paulo: Qualitymark, 1992.

[39] GOLDSTEIN J.I.; NEWBURY D. E.; ECHIL P; Joy DC; Romig Jr AD; Lyman CE; Fiori C; Lifshin E. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. New York: Plenum Press; 1992.

[40] GORDON, W., VAN BENNEKOM, A. Review of stabilization of ferritic stainless steels. Materials Science and Technology, v. 12, n. 2, p. 126-131, 1996

[41] GWEC. Global Wind Report: Annual Market Update 2017. GWEC/Global Wind Energy Council, 2018.

[42] HALL, S. Biomecânica Básica. 5.ed., Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, 2009

[43] HANSEN, M. H. Wind Turbine Terminology and Components. DTU. [S.l], p. 10. 2016..

[44] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/peralta_r_e/apendiceC.pdf. Acesso em 07/05/2020.

[45] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2015. World Energy Outlook, 2015. Paris, France.

[46] ISO 9227 INTERNATIONAL STANDARD. Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests - jul. 2006. Disponível em: < https://www.iso.org/standard/33276.html>. Acesso em 07/05/2020.

[47] LIPPOLD, J.C., KOTECKI, D.J., welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, Wiley-Interscience, Hoboken, EUA; 2005.

[48] LIU, Weiming, ZHANG, H., QU, Z., ZHANG, Y., LI, J., Corrosion behavior of the steel used as a huge storage tank in seawater. Journal of Solid-State Electrochemistry., p. 965-973. jul. 2009.

[49] MANNHEIMER, W. A. Microscopia dos Materiais – Uma Introdução. Rio de Janeiro. Editora e-papers, 2002.

[50] MARDUQUE, M. “Componentes de um aerogerador” Arquivo disponível na internet via: https://www.linkedin.com/pulse/conhe%C3%A7a-os-componentes-de-um-aerogerador-max-marduque. Arquivo consultado em 2019

[51] MARIANO, Carolina. Obtenção de Revestimentos de Nióbio Depositados por Aspersão Térmica para Proteção à Corrosão Marinha. 2008. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Departamento de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

[52] METALS HANDBOOK, Volume 9 - Metallography and Microstructures - ASL Handbook Committee -American Society for Metals, ASM International, Metals Park, Ohio,1985

[53] Microturbina Eólica - Fab Lab IMT / Manual do Mundo - São Caetano do Sul, SP - setembro de 2018

[54] MONEY, K. L. Corrosion testing in the atmosphere. **ASM Handbook,** v. 13, p. 204-207, 1992.

[55] NASCIMENTO, A. M.; IERARDI, M. C. F.; KINA, A. Y.; TAVARES, S. S. M. Pitting corrosion resistance of cast duplex stainless steel in 3.5% NaCl solution. Materials Characterization, v. 59, n. 12, p. 1736-1740, 2008.

[56] Norma Nace Standard RP0775 (2005). Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations, item nº 21017, ISBN 1-57590-086-6, 2005.

[57] OGWU, A.A., DAVIES, T.J., Improving the sensitization resistance of ferritic stainless steel. Script Materially, V. 37, n. 3, p. 259 – 263, 1997.

[58] PANOSSIAN, ZEHBOUR. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas. São Paulo: IPT, 2v. 1993.

[59] PECKNER, D., BERNSTEIN, I. M. Handbook of Stainless Steels. USA: McGrawHill Book Company, 1977

[60] PICKERING, F. B. Physical metallurgy of stainless steel. International Metals Reviews, rev. 211, p. 227-268, 1976.

[61] PINTO, Milton de Oliveira. Fundamentos de energia eólica. Rio de Janeiro: LTC, 2017

[62] RENDÓN, José; OLSSON, Mikael. Abrasive wear resistance of some commercial abrasion resistant steels evaluated by laboratory test methods. Wear., p. 2055-2061. ago. 2009.

[63] Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 – Ed. Especial – março 2019 - página 6 de 11

[64] ROBERGE, P. R., Handbook of Corrosion Engineering, 1999.

[65] ROBERGE, P.R. Handbook of Corrosion Engineering. United States of America: McGraw-Hill. 2000. 1140 p.

[66] ROCHA, R. V. Simulação de Aerogerador em uma Bancada Experimental. 2008. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: https://www.pee.ufrj.br/eses/textocompleto/200842802.pdf . Acessado em: 12 de mai. de 2020

[67] SÁ, Antônio Leite, LOPES, José Demerval Saraiva. Energia Eólica para Geração de Eletricidade e Bombeamento de Água. Viçosa: CPT, 2001.

[68] SCHUBERT, Pedro. Análise de investimentos e taxa de retorno. São Paulo: Ática,1989, 99p. (Principios;167).

[69] SEDRIKS, A. J. Corrosion of stainless steels. 2. ed. New York; Chichester; Brisbane: John Wiley, 1996.

[70] SEDRIKS, A. J., Corrosion of Stainless Steels, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York – NY 1996.

[71] SEDRIKS, A. J., Corrosion of Stainless Steels. 2ª ed. A Wiley-Interscience Publications, New York, 1996

[72] SHERIF, El-sayed M. A comparative Study on the Electrochemical Corrosion Behaviour of Iron and X65 Steel in 4.0 wt% Sodium Chloride Solution after Different Exposure Intervals. Molecules, v. 19, p.9962-9974, 3 jul. 2014.

[73] SINVAL, C. C., JUNIOR B.R., EUFRÁSIO J.P.S., SANTA'ANA H.B., Avaliação da resistência a Corrosão de aços inoxidáveis utilizados como revestimentos de torres de destilação de petróleo, 3º Congresso Brasileiro em P&D de Petróleo e Gás, Salvador BA, Brasil, 2005.

[74] Site da ARCELORMITTAL INOX BRASIL, Disponível em: <http://www.arcelormittalinoxbrasil.com.br/port/home/> Acesso em: 21/05/2020.

[75] STREICHER, M.A. The role of carbon, nitrogen, and heat treatment in the dissolution of iron-chromium alloys in acids. Corrosion. V. 29, n. 9, p. 337 – 360, 1973.

[76] TAYLOR, C.W., 2008. “Rotor hub for a 1.5 / 2.0-megawatt wind turbine”. Arquivo disponível na internet via http://www.cwtaylor.co.uk/news/body.htm. Arquivo consultado em 2019.

[77] TOMARI et alii. Intergranular stress corrosion cracking of 13% Cr and 18% Cr ferritic stainless steel in high temperature high purity water. Corrosion. V. 38, n. 5, p. 283 - 294, 1982.

[78] TULLMIN et alii. Intergranular corrosion in low interstitial 40%Cr ferritic stainless steels. British Corrosion Journal, v 25, n. 3, p. 191-196, 1990.

[79] VILLAFUERTE, J. C., KERR, H.W. Phase transformation in stainless steel weld metal and heat-affected zone. Key Engineering Materials. V. 69 e 70, p.129 -148, 1992.

Anexos:

ANEXO I

Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)

Written by AZoM Oct 23 2001

Chemical Formula

Fe, <0.08% C, 17.5-20% Cr, 8-11% Ni, <2% Mn, <1% Si, <0.045% P, <0.03% S

Topics Covered

Background

Key Properties

- Composition
- Mechanical Properties
- Physical Properties
- Grade Specification Comparison
- Possible Alternative Grades

Corrosion Resistance

Heat Resistance

Heat Treatment

Welding

Machining

Dual Certification

Applications

Background

Grade 304 is the standard "18/8" stainless; it is the most versatile and most widely used stainless steel, available in a wider range of products, forms and finishes than any other. It has excellent forming and welding characteristics. The balanced austenitic structure of Grade 304 enables it to be severely deep drawn without intermediate annealing, which has made this grade dominant in the manufacture of drawn stainless parts such as sinks, hollow-ware and saucepans. For these applications it is common to use special "304DDQ" (Deep Drawing Quality) variants. Grade 304 is readily brake or roll formed into a variety of components for applications in the industrial, architectural, and transportation fields. Grade 304 also has outstanding welding characteristics. Post-weld annealing is not required when welding thin sections.

Grade 304L, the low carbon version of 304, does not require post-weld annealing and so is extensively used in heavy gauge components (over about 6mm). Grade 304H with its higher carbon content finds application at elevated temperatures. The austenitic structure also gives these grades excellent toughness, even down to cryogenic temperatures.

More about Stainless Steel 304

- *In-Depth SS 304 Property Data*
- *Medical Applications of SS 304*
- *Stainless Steel - High Temperature Resistance*
- *Stainless Steel - Sorting and Identification Tests*
- *Stainless Steel - Magnetic Properties*
- In the market for Stainless Steel 304? we can connect you with suppliers of SS304 in any of these forms - **Ball, Bar, Beam, Billet, Bloom, Cable, Castings, Coil, Cylinder, Disc, Extrusions, Flats (Flat Bar), Foil, Forging, Pipe, Plate, Powder, Ribbon, Ring, Rod, Rounds, Sheet, Squares, Strip, Tube** and **Wire**.
- Interested in **stainless steel news** in general? Also feel free to '**Ask A Question**' at the bottom of this article, we've lots of in-house knowledge, materials expertise and industry contacts!
- Do you have any interesting pictures of SS304 we can add to this article, at the nano,

Key Properties

These properties are specified for flat rolled product (plate, sheet and coil) in ASTM A240/A240M. Similar but not necessarily identical properties are specified for other products such as pipe and bar in their

respective specifications.

Composition

Typical compositional ranges for grade 304 stainless steels are given in table 1.

micro level or simply cool products? We'll give credit where credits due if the photos are worthy of publishing! Email ****

Table 1. Composition ranges for 304 grade stainless steel

Grade		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
304	min.	-	-	-	-	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.08	2.0	0.75	0.045	0.030	20.0		10.5	0.10
304L	min.	-	-	-	-	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.030	2.0	0.75	0.045	0.030	20.0		12.0	0.10
304H	min.	0.04	-	-	-0.045	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.10	2.0	0.75		0.030	20.0		10.5	

Mechanical Properties

Typical mechanical properties for grade 304 stainless steels are given in table 2.

Table 2. Mechanical properties of 304 grade stainless steel

Grade	Tensile Strength (MPa) min	Yield Strength 0.2% Proof (MPa) min	Elongation (% in 50mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max
304	515	205	40	92	201
304L	485	170	40	92	201

304H	515	205	40	92	201

304H also has a requirement for a grain size of ASTM No 7 or coarser.

Physical Properties

Typical physical properties for annealed grade 304 stainless steels are given in table 3.

Table 3. Physical properties of 304 grade stainless steel in the annealed condition

Grade	Density (kg/m^3)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Coefficient of Thermal Expansion (μm/m/°C)			Thermal Conductivity (W/m.K)		Specific Heat 0-100°C (J/kg.K)	Electrical Resistivity (nΩ.m)
			0-100°C	0-315°C	0-538°C	at 100°C	at 500°C		
304/L/H	8000	193	17.2	17.8	18.4	16.2	21.5	500	720

Grade Specification Comparison

Approximate grade comparisons for 304 stainless steels are given in table 4.

Table 4. Grade specifications for 304 grade stainless steel

Grade	UNS No	Old British		Euronorm		Swedish SS	Japanese JIS
		BS	En	No	Name		
304	S30400	304S31	58E	1.4301	X5CrNi18-10	2332	SUS 304
304L	S30403	304S11	-	1.4306	X2CrNi19-11	2352	SUS 304L
304H	S30409	304S51	-	1.4948	X6CrNi18-11	-	-

These comparisons are approximate only. The list is intended as a comparison of functionally similar materials **not** as a schedule of contractual equivalents. If exact equivalents are needed original specifications must be consulted.

Possible Alternative Grades

Possible alternative grades to grade 304 stainless steels are given in table 5.

Table 5. Possible alternative grades to 304 grade stainless steel

Grade	Why it might be chosen instead of 304
301L	A higher work hardening rate grade is required for certain roll formed or stretch formed components.
302HQ	Lower work hardening rate is needed for cold forging of screws, bolts and rivets.
303	Higher machinability needed, and the lower corrosion resistance, formability and weldability are acceptable.
316	Higher resistance to pitting and crevice corrosion is required, in chloride environments
321	Better resistance to temperatures of around 600-900°C is needed…321 has higher hot strength.
3CR12	A lower cost is required, and the reduced corrosion resistance and resulting discolouration are acceptable.
430	A lower cost is required, and the reduced corrosion resistance and fabrication characteristics are acceptable.

Corrosion Resistance

Excellent in a wide range of atmospheric environments and many corrosive media. Subject to pitting and crevice corrosion in warm chloride environments, and to stress corrosion cracking above about 60°C. Considered resistant to potable water with up to about 200mg/L chlorides at ambient temperatures, reducing to about 150mg/L at 60°C.

Heat Resistance

Good oxidation resistance in intermittent service to 870°C and in continuous service to 925°C. Continuous use of 304 in the 425-860°C range is not recommended if subsequent aqueous corrosion resistance is important. Grade 304L is more resistant to carbide precipitation and can be heated into the above temperature range.

Grade 304H has higher strength at elevated temperatures so is often used for structural and pressure-containing applications at temperatures above about 500°C and up to about 800°C. 304H will become sensitised in the temperature range of 425-860°C; this is not a problem for high temperature applications, but will result in reduced aqueous corrosion resistance.

Heat Treatment

Solution Treatment (Annealing) - Heat to 1010-1120°C and cool rapidly. These grades cannot be hardened by thermal treatment.

Welding

Excellent weldability by all standard fusion methods, both with and without filler metals. AS 1554.6 pre-qualifies welding of 304 with Grade 308 and 304L with 308L rods or electrodes (and with their high silicon equivalents). Heavy welded sections in Grade 304 may require post-weld annealing for maximum corrosion resistance. This is not required for Grade 304L. Grade 321 may also be used as an alternative to 304 if heavy section welding is required and post-weld heat treatment is not possible.

Machining

A "Ugima" improved machinability version of grade 304 is available in bar products. "Ugima" machines significantly better than standard 304 or 304L, giving higher machining rates and lower tool wear in many operations.

Dual Certification

It is common for 304 and 304L to be stocked in "Dual Certified" form, particularly in plate and pipe. These items have chemical and mechanical properties complying with both 304 and 304L specifications. Such dual certified product does not meet 304H specifications and may be unacceptable for high temperature applications.

Applications

Typical applications include:

- Food processing equipment, particularly in beer brewing, milk processing & wine making.
- Kitchen benches, sinks, troughs, equipment and appliances
- Architectural panelling, railings & trim
- Chemical containers, including for transport
- Heat Exchangers

- Woven or welded screens for mining, quarrying & water filtration
- Threaded fasteners
- Springs

The 630-foot-high (190 m), stainless-clad (type 304) Gateway Arch defines St. Louis's skyline

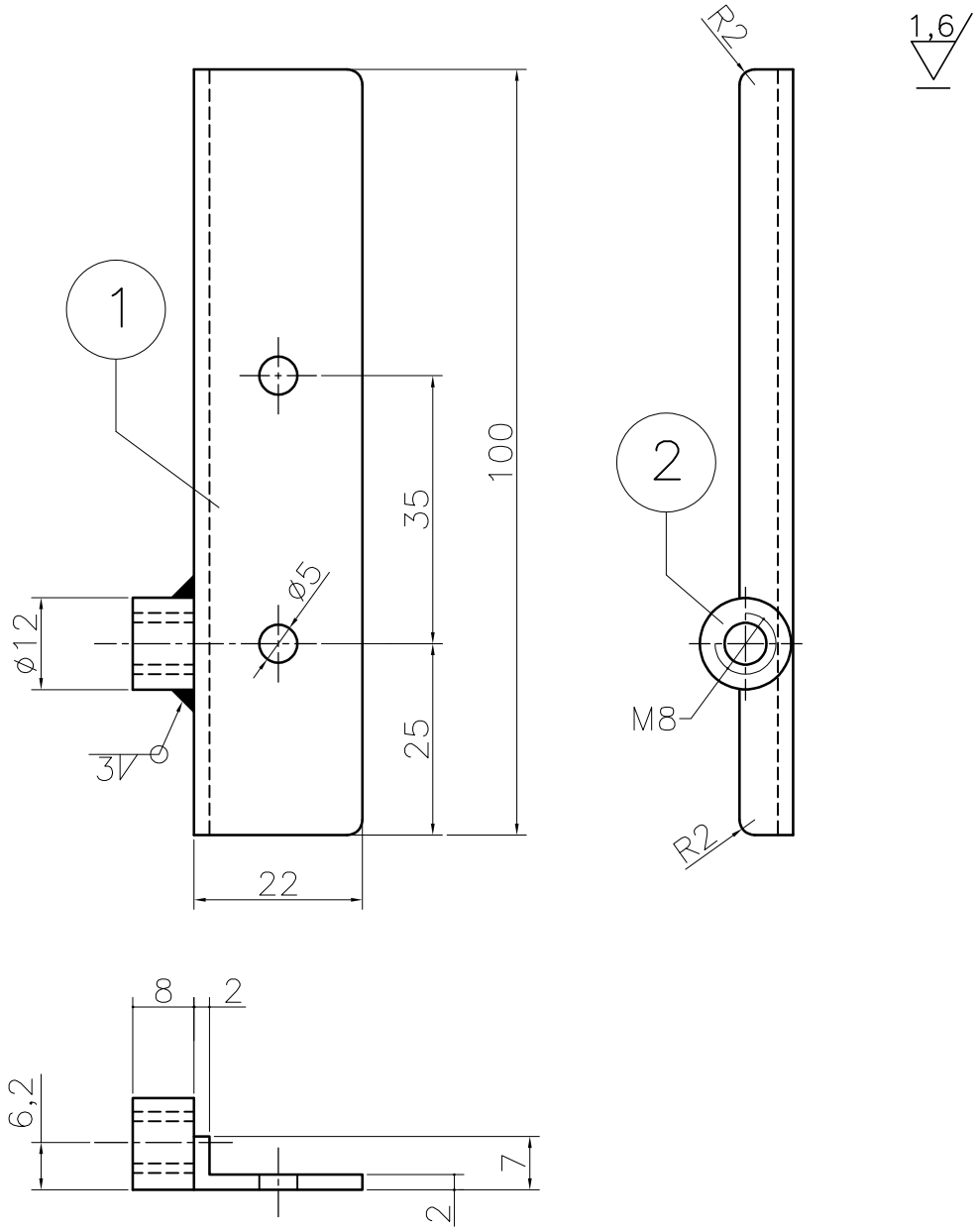
Source: Atlas Steels Australia

For more information on this source please visit Atlas Steels Australia

ANEXO

II

REVISÃO			
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESP.
0	09/12/2019	EMISSÃO	PATRICK



NOTAS:

1– CHANFROS NÃO COTADOS = 1x45°
2– RAIOS NÃO COTADOS = 0,5

POS	QTD	DENOMINAÇÃO/DIMENSÕES	MATERIAL	OBS.
2	02	PORCA DA PLACA DE FIXAÇÃO – ø12 x 8mm	INOX 304	–
1	02	PLACA DE FIXAÇÃO DA PÁ – 100 x 22 x 7mm	INOX 304	–

▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	▽▽▽▽	COTAS SEM TOLERÂNCIA INDICADA (DIN-7168)					
					0 / 6	6 / 30	30 / 120	120 / 400	400 / 1000	1000 / 2000
25	6,3	1,6	0,2	0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

PROJETADO POR	MAICON - PATRICK	DATA:	09/12/2019
DESENHADO POR	PATRICK	DATA:	09/12/2019
VERIFICADO POR	DOUGLAS - FELIPE	DATA:	09/12/2019

UNIFOA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

ESCALA GERAL DE PLOTAGEM: S/E

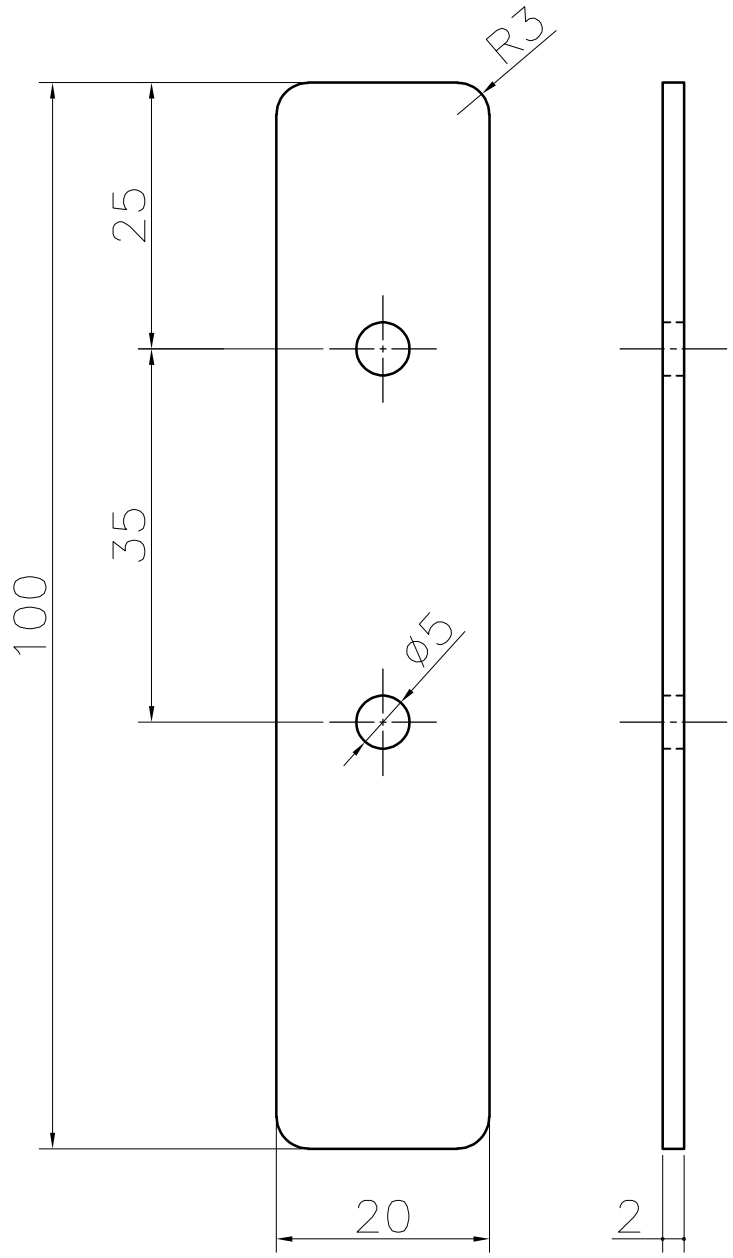
TÍTULO:

PLACA DE FIXAÇÃO DA PÁ

ESCALA	FIRMA	FORMATO
S/E	DFMP ENGENHARIA	A4
REVISÃO	DESENHO Nº	PROJEÇÃO
0	DFMP - 1	

ESTE DESENHO, INCLUSIVE TODAS AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS, CONSTITUI PROPRIEDADE DA DFMP ENGENHARIA, NÃO PODENDO, NOS TERMOS E SOB AS PENAS DA LEGISLAÇÃO EM VIGOR, SER REPRODUZIDO DE NENHUMA FORMA E NEM SER FORNECIDO A TERCEIROS A QUALQUER TÍTULO SEM A PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DA DFMP ENGENHARIA.

REVISÃO			
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESP.
0	09/12/2019	EMISSÃO	PATRICK



NOTAS:

1– CHANFROS NÃO COTADOS = 1x45°
2– RAIOS NÃO COTADOS = 0,5

POS	QTD	DENOMINAÇÃO/DIMENSÕES	MATERIAL	OBS.
1	02	PLACA DE FIXAÇÃO SUPERIOR DA PÁ – 100 x 20 x 2mm	INOX 304	–

▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	COTAS SEM TOLERÂNCIA INDICADA (DIN-7168)					
				0 / 6	6 / 30	30 / 120	120 / 400	400 / 1000	1000 / 2000
6,3	1,6	0,2	0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

PROJETADO POR	MAICON - PATRICK	DATA:	09/12/2019
DESENHADO POR	PATRICK	DATA:	09/12/2019
VERIFICADO POR	DOUGLAS - FELIPE	DATA:	09/12/2019

UNIFOA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

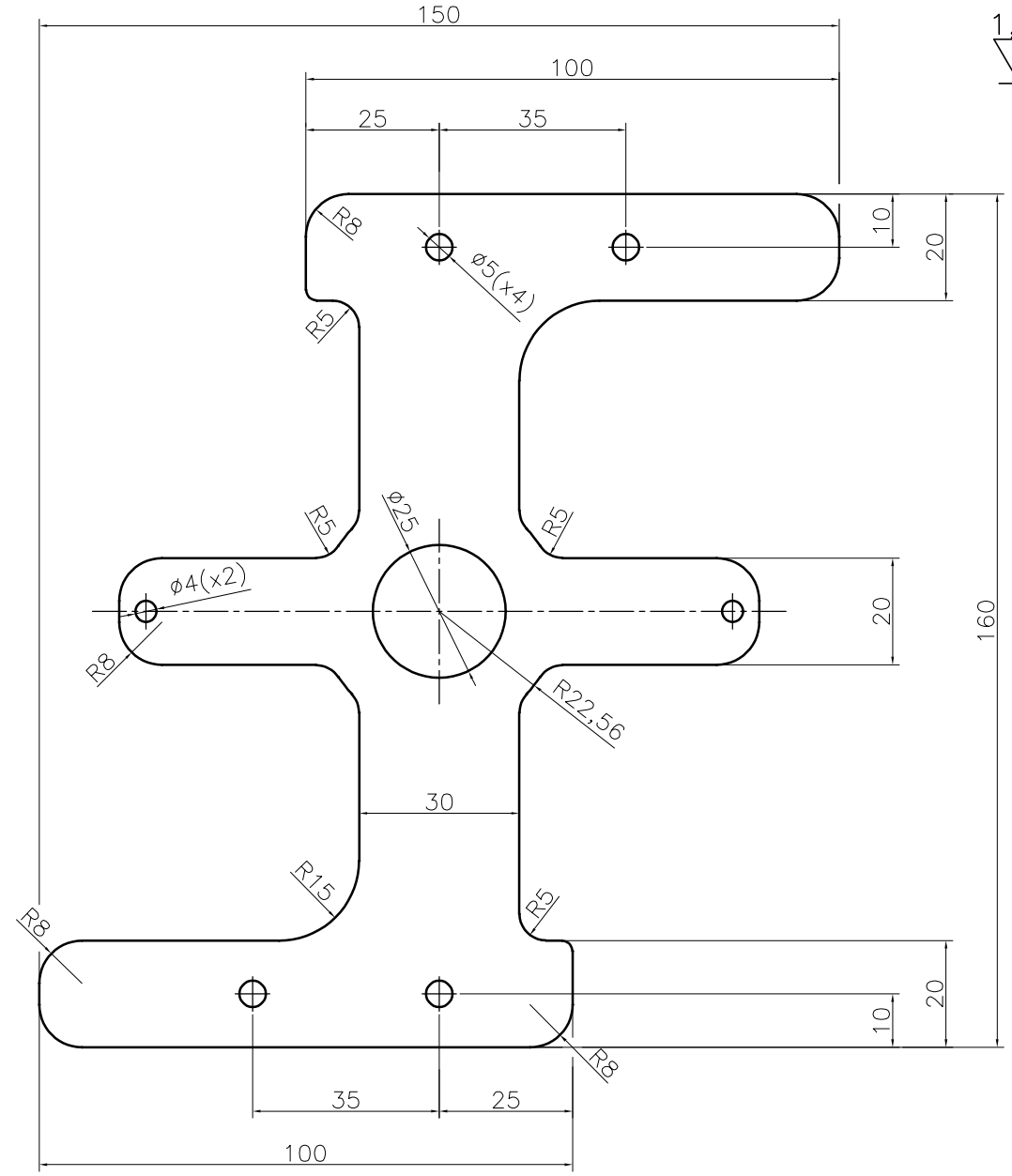
TÍTULO:
PLACA DE FIXAÇÃO SUPERIOR DA PÁ

ESCALA	FIRMA	FORMATO
S/E	DFMP ENGENHARIA	A4
REVISÃO	DESENHO Nº	PROJEÇÃO
0	DFMP - 2	

ESCALA GERAL DE PLOTAGEM: S/E

ESTE DESENHO, INCLUSIVE TODAS AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS, CONSTITUI PROPRIEDADE DA DFMP ENGENHARIA, NÃO PODENDO, NOS TERMOS E SOB AS PENAS DA LEGISLAÇÃO EM VIGOR, SER REPRODUZIDO DE NENHUMA FORMA E NEM SER FORNECIDO A TERCEIROS A QUALQUER TÍTULO SEM A PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DA DFMP ENGENHARIA.

REVISÃO			
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESP.
0	09/12/2019	EMISSÃO	PATRICK



NOTAS:

1– CHANFROS NÃO COTADOS = 1x45°
2– RAIOS NÃO COTADOS = 0,5

ESPESSURA=2mm

POS	QTD	DENOMINAÇÃO/DIMENSÕES	MATERIAL	OBS.
1	01	CUBO DO MANCAL DE HD – 150 x 160 x 2mm	INOX 304	–

~	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	COTAS SEM TOLERÂNCIA INDICADA (DIN-7168)					
					0 / 6	6 / 30	30 / 120	120 / 400	400 / 1000	1000 / 2000
25	6,3	1,6	0,2	0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

PROJETADO POR	MAICON - PATRICK	DATA:	09/12/2019
DESENHADO POR	PATRICK	DATA:	09/12/2019
VERIFICADO POR	DOUGLAS - FELIPE	DATA:	09/12/2019

UNIFOA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

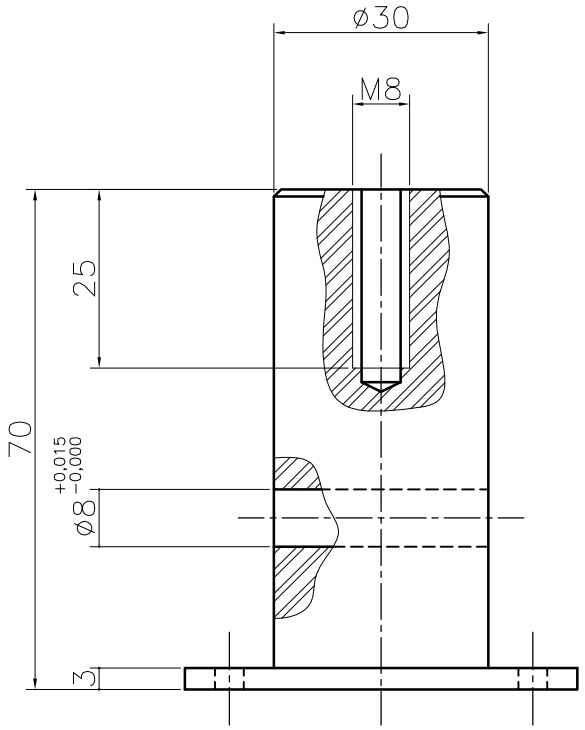
TÍTULO: CUBO DO MANCAL HD

ESCALA	FIRMA	FORMATO
S/E	DFMP ENGENHARIA	A4
REVISÃO	DESENHO Nº	PROJEÇÃO
0	DFMP - 3	

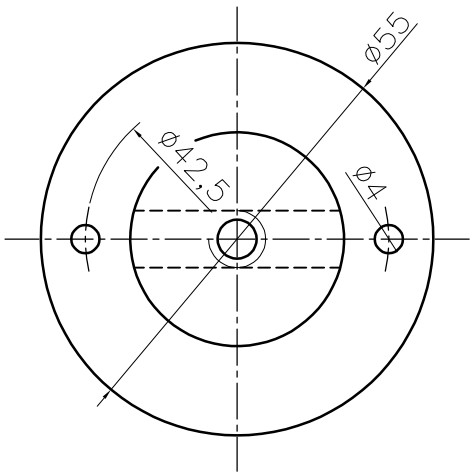
ESCALA GERAL DE PLOTAGEM: S/E

ESTE DESENHO, INCLUSIVE TODAS AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS, CONSTITUI PROPRIEDADE DA DFMP ENGENHARIA, NÃO PODENDO, NOS TERMOS E SOB AS PENAS DA LEGISLAÇÃO EM VIGOR, SER REPRODUZIDO DE NENHUMA FORMA E NEM SER FORNECIDO A TERCEIROS A QUALQUER TÍTULO SEM A PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DA DFMP ENGENHARIA.

REVISÃO			
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESP.
0	09/12/2019	EMISSÃO	PATRICK



1,6



NOTAS:

1– CHANFROS NÃO COTADOS = 1x45°
2– RAIOS NÃO COTADOS = 0,5

POS	QTD	DENOMINAÇÃO/DIMENSÕES	MATERIAL	OBS.
1	01	CUBO DO ROTOR – ø55 x 70mm	INOX 304	–

▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	▽▽▽▽▽	COTAS SEM TOLERÂNCIA INDICADA (DIN-7168)					
					0 / 6	6 / 30	30 / 120	120 / 400	400 / 1000	1000 / 2000
25	6,3	1,6	0,2	0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

PROJETADO POR	MAICON - PATRICK	DATA:	09/12/2019
DESENHADO POR	PATRICK	DATA:	09/12/2019
VERIFICADO POR	DOUGLAS - FELIPE	DATA:	09/12/2019

UNIFOA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

TÍTULO:

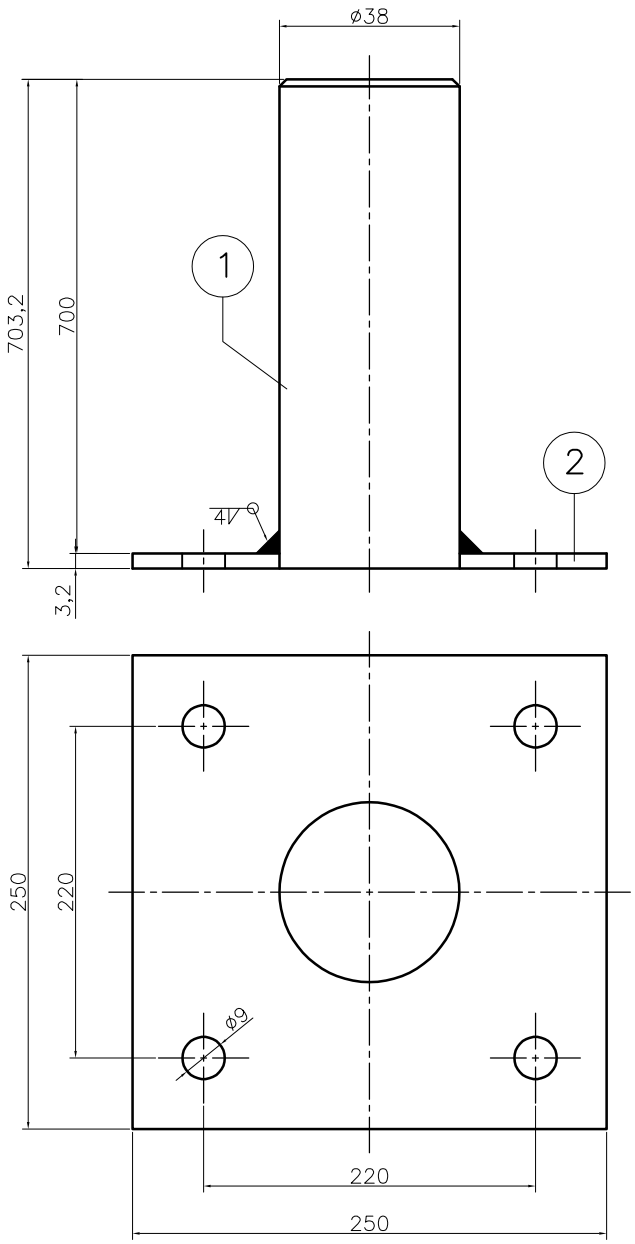
CUBO DO ROTO

ESCALA	FIRMA	FORMATO
S/E	DFMP ENGENHARIA	A4
REVISÃO	DESENHO Nº	PROJEÇÃO
0	DFMP - 4	

ESCALA GERAL DE PLOTAGEM: S/E

ESTE DESENHO, INCLUSIVE TODAS AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS, CONSTITUI PROPRIEDADE DA DFMP ENGENHARIA, NÃO PODENDO, NOS TERMOS E SOB AS PENAS DA LEGISLAÇÃO EM VIGOR, SER REPRODUZIDO DE NENHUMA FORMA E NEM SER FORNECIDO A TERCEIROS A QUALQUER TÍTULO SEM A PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DA DFMP ENGENHARIA.

REVISÃO			
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESP.
0	09/12/2019	EMISSÃO	PATRICK



NOTAS:

1– CHANFROS NÃO COTADOS = 1x45°
2– RAIOS NÃO COTADOS = 0,5

POS	QTD	DENOMINAÇÃO/DIMENSÕES	MATERIAL	OBS.
1	01	EIXO DA BASE – ø35 x 705mm	INOX 304	–
2	01	BASE – 250 x 250 x 4mm	INOX 304	–

~	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽
25	6,3	1,6	0,2	0,1

COTAS SEM TOLERÂNCIA INDICADA (DIN-7168)

0 / 6	6 / 30	30 / 120	120 / 400	400 / 1000	1000 / 2000
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

PROJETADO POR	MAICON - PATRICK	DATA: 09/12/2019
DESENHADO POR	PATRICK	DATA: 09/12/2019
VERIFICADO POR	DOUGLAS - FELIPE	DATA: 09/12/2019

UNIFOA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

TÍTULO:

BASE DE FIXAÇÃO

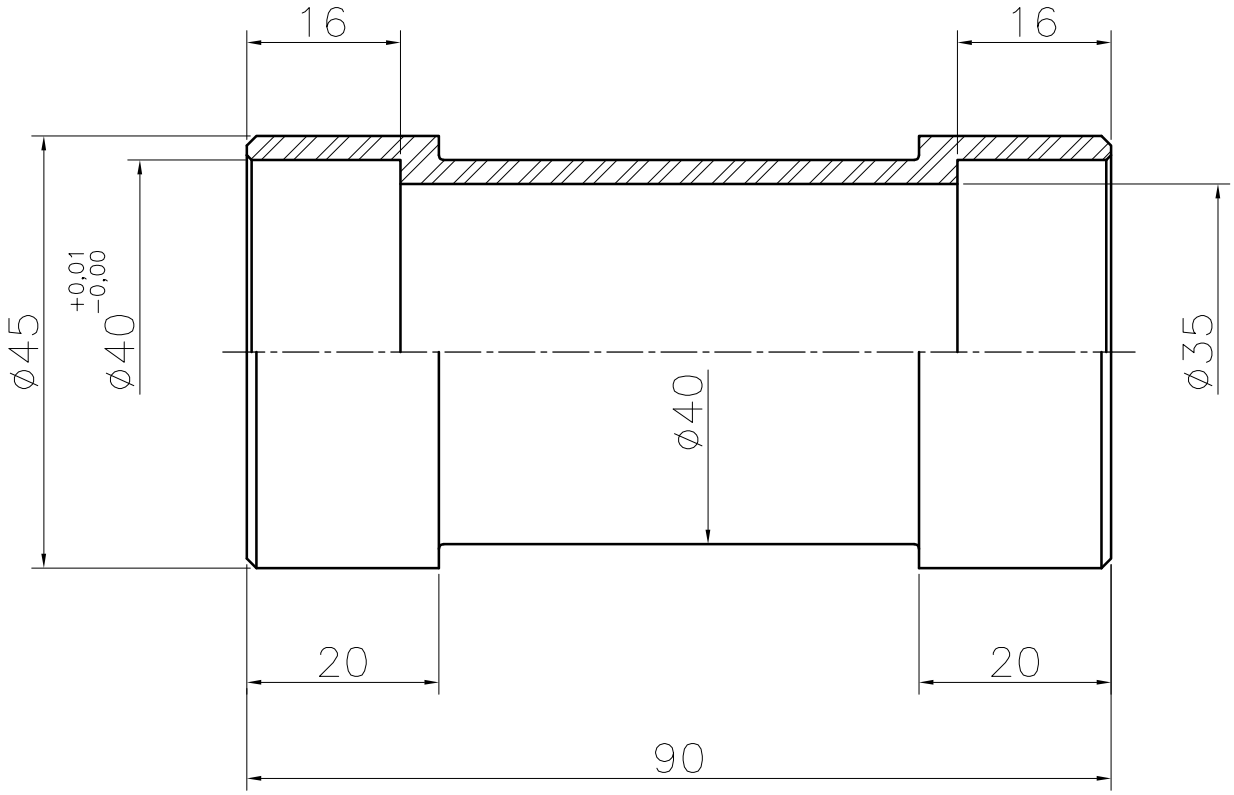
ESCALA	FIRMA	FORMATO
S/E	DFMP ENGENHARIA	A4
REVISÃO	DESENHO Nº	PROJEÇÃO
0	DFMP - 5	

ESCALA GERAL DE PLOTAGEM: S/E

ESTE DESENHO, INCLUSIVE TODAS AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS, CONSTITUI PROPRIEDADE DA DFMP ENGENHARIA, NÃO PODENDO, NOS TERMOS E SOB AS PENAS DA LEGISLAÇÃO EM VIGOR, SER REPRODUZIDO DE NENHUMA FORMA E NEM SER FORNECIDO A TERCEIROS A QUALQUER TÍTULO SEM A PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DA DFMP ENGENHARIA.

REVISÃO			
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESP.
0	09/12/2019	EMISSÃO	PATRICK

1,6



NOTAS:

1– CHANFROS NÃO COTADOS = 1x45°
2– RAIOS NÃO COTADOS = 0,5

POS	QTD	DENOMINAÇÃO/DIMENSÕES	MATERIAL	OBS.
1	01	CAMISA DO ROLAMENTO – ø45 x ø35 x 90mm	INOX 304	–

▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	COTAS SEM TOLERÂNCIA INDICADA (DIN-7168)					
				0 / 6	6 / 30	30 / 120	120 / 400	400 / 1000	1000 / 2000
6,3	1,6	0,2	0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

PROJETADO POR	MAICON - PATRICK	DATA:	09/12/2019
DESENHADO POR	PATRICK	DATA:	09/12/2019
VERIFICADO POR	DOUGLAS - FELIPE	DATA:	09/12/2019

UNIFOA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

TÍTULO:

CAMISA DO ROLAMENTO

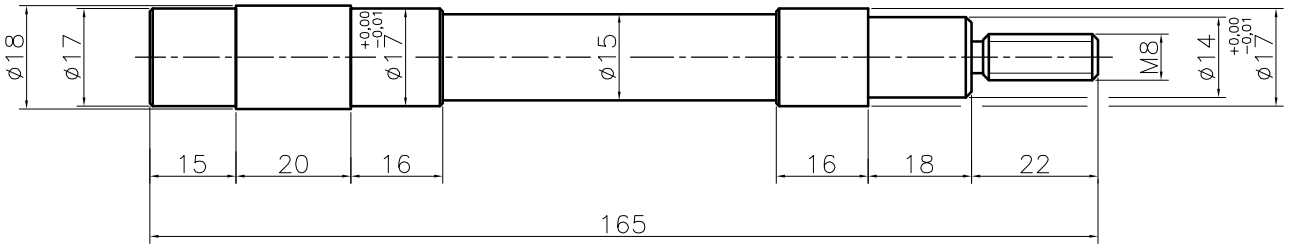
ESCALA	FIRMA	FORMATO
S/E	DFMP ENGENHARIA	A4
REVISÃO	DESENHO Nº	PROJEÇÃO
0	DFMP - 6	

ESCALA GERAL DE PLOTAGEM: S/E

ESTE DESENHO, INCLUSIVE TODAS AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS, CONSTITUI PROPRIEDADE DA DFMP ENGENHARIA, NÃO PODENDO, NOS TERMOS E SOB AS PENAS DA LEGISLAÇÃO EM VIGOR, SER REPRODUZIDO DE NENHUMA FORMA E NEM SER FORNECIDO A TERCEIROS A QUALQUER TÍTULO SEM A PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DA DFMP ENGENHARIA.

REVISÃO			
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	RESP.
0	09/12/2019	EMISSÃO	PATRICK

1,6



NOTAS:

1– CHANFROS NÃO COTADOS = 1x45°
2– RAIOS NÃO COTADOS = 0,5

POS	QTD	DENOMINAÇÃO/DIMENSÕES	MATERIAL	OBS.
1	01	EIXO DO ROLAMENTO – ø18 x 165mm	INOX 304	–

~	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	COTAS SEM TOLERÂNCIA INDICADA (DIN-7168)					
					0 / 6	6 / 30	30 / 120	120 / 400	400 / 1000	1000 / 2000
25	6,3	1,6	0,2	0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

PROJETADO POR	MAICON - PATRICK	DATA:	09/12/2019
DESENHADO POR	PATRICK	DATA:	09/12/2019
VERIFICADO POR	DOUGLAS - FELIPE	DATA:	09/12/2019

UNIFOA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

TÍTULO:

EIXO DO ROLAMENTO

ESCALA	FIRMA	FORMATO
S/E	DFMP ENGENHARIA	A4
REVISÃO	DESENHO Nº	PROJEÇÃO
0	DFMP - 7	

ESCALA GERAL DE PLOTAGEM: S/E

ESTE DESENHO, INCLUSIVE TODAS AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS, CONSTITUI PROPRIEDADE DA DFMP ENGENHARIA, NÃO PODENDO, NOS TERMOS E SOB AS PENAS DA LEGISLAÇÃO EM VIGOR, SER REPRODUZIDO DE NENHUMA FORMA E NEM SER FORNECIDO A TERCEIROS A QUALQUER TÍTULO SEM A PRÉVIA E EXPRESSA AUTORIZAÇÃO DA DFMP ENGENHARIA.