

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA – CEFET-RJ**

Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE SISTEMA PARA PRÁTICA DE *CABLE SANDBOARD*

Matheus de Almeida Ribeiro Reis

**Rio de Janeiro
2023**

Matheus de Almeida Ribeiro Reis

PROJETO DE SISTEMA PARA PRÁTICA DE *CABLE SANDBOARD*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Profs. Orientadores:

Ricardo Alexandre de Amar Aguiar
Leydervan de Souza Xavier

**Rio de Janeiro
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R375 Reis, Matheus de Almeida Ribeiro
Projeto de sistema para prática de cable sandboard / Matheus
de Almeida Ribeiro Reis. — 2023.
71f. + anexo : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.

Bibliografia : f. 69-71

Orientador: Ricardo Alexandre de Amar Aguiar

Coorientador: Leydervan de Souza Xavier

1. Engenharia mecânica. 2. Máquina - Projeto. 3. Fios de aço. 4.
Motores elétricos. I. Aguiar, Ricardo Alexandre de Amar. (Orient.). II.
Xavier, Leydervan de Souza. III. Título.

CDD 621

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo suporte emocional e financeiro que me proporcionaram até aqui.

Obrigado aos orientadores Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier pelo tempo e conhecimento dedicados a mim para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

REIS, Matheus de Almeida Ribeiro. **Projeto de sistema para prática de *cable sandboard***. 2023. 48 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. RJ, 2023.

A prática de esportes sobre prancha cresce continuamente desde a década de 1960, principalmente após estreia do filme “Gidget Goes Hawaiian”. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um equipamento capaz de popularizar a prática do *sandboard*, reduzindo a interferência de variáveis climáticas sobre a prática do esporte. O equipamento consiste em um sistema de movimentação acionado por motor elétrico e cabo de aço suspenso em torres que traciona o surfista sobre uma pista de areia de praia. O projeto do equipamento foi baseado em normas técnicas e tomou como referência uma possível implantação no litoral do Rio de Janeiro. As especificações de todos os componentes e todos os processos de fabricação e de montagem são orientadas à execução realista e aplicação comercial futura.

Palavras-chave: Máquina de transporte. Cabo de aço. Prática de Sandboard. Motor elétrico. Torre de aço.

ABSTRACT

The practice of board sports has grown exponentially since the 1960s, after the release of the movie “Gidget Goes Hawaiian”. This work refers to a machine capable of popularizing the practice of sandboarding, reducing the interference of climatic variables on the practice of this sport. The project introduces an electric motor, suspended by lattice towers, which moves the steel cable responsible for moving the surfer along a horizontal path. For this project, a search was made for transport machines that use steel cable to transmit movement, in order to take advantage of existing systems and address technical standards to similar issues between the mechanisms. After this contextual and normative basis, it proceeds to sections of calculations, technical drawings and computer simulations to verify the efforts and outline the assembled system.

Keywords: Transport machines. Steel cable. Sandboarding. Electric motor. Truss.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Bondinho de São Francisco	14
Figura 2. Vista isométrica do sistema cabo de aço	15
Figura 3. Vista seccionada do sistema do bondinho	15
Figura 4. Teleférico de Balneário Camburiú	16
Figura 5. Sistema de molas para engate	16
Figura 6. Wake parque de cabo de aço.....	17
Figura 7. Esboço do sistema direto.....	18
Figura 8. Esboço do sistema circular.....	18
Figura 9. Disposição e dimensões globais do Sistema	19
Figura 10. Região de ocupação do sistema.....	20
Figura 11. Configuração do funcionamento do Cable Park	20
Figura 12. Cancela 4, Praia do Foguete, Cabo Frio.....	22
Figura 13. União de segmentos de cabo por meio de grampos.....	29
Figura 14. Série galvânica para diferentes materiais e ligas	33
Figura 15. Ilustração da tensão cisalhante.....	34
Figura 16. Deslocamento vertical da catenária	37
Figura 17. Diagrama de corpo livre da polia de transmissão.....	39
Figura 18. Conjugado de partida do motor	41
Figura 19. Motor WEG W22 10 cv.....	41
Figura 20. Diagrama de corpo livre do eixo.....	44
Figura 21. Diagrama de esforço cortante	45
Figura 22. Momento fletor.....	45
Figura 23. Tensão de flexão	46
Figura 24. Fator concentrador de tensão.....	46
Figura 25. Tensão de flexão com concentração de tensão.....	47
Figura 26. Linhas de fadiga	48
Figura 27. Representação de chaveta, eixo e cubo	50
Figura 28. Viga em balanço	53
Figura 29. Tensão em função do raio interno	54
Figura 30. Deflexão em função do raio interno	54
Figura 31. Distribuição radial dos furos da base.....	55
Figura 32. Vetores de cisalhamento na base de fixação	56
Figura 33. Simulação de tensões base de fixação.....	57
Figura 34. Deslocamento contraintuitivo ao aplicar carga de prova	59
Figura 35. Chumbadores tipo J	59
Figura 36. Cotas determinadas pela ASME 18.2.6.....	60
Figura 37. Área efetiva ou área de garganta.....	62
Figura 38. Geometria de solda de contorno	63

Figura 39. Geometria de solda em U cisalhamento	64
Figura 40. Geometria de solda em U normal	65
Figura 41. Configuração de funcionamento do Cable Park.....	66
Figura 42. Mecanismo de união cabo de aço x guia.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tempos de aceleração e valores da aceleração	24
Quadro 2. Pressão do vento de projeto de operação.....	25
Quadro 3. Altura acima do solo x pressão do vento fora de serviço.....	25
Quadro 4. Coeficientes aerodinâmicos	26
Quadro 6. Coeficiente para polias e tambores	27
Quadro 7. Coeficiente de ampliação.....	28
Quadro 8. Quantidade de grampos, espaçamentos e torques de aperto	30
Quadro 9. Tipo de dano x métodos de avaliação	31
Quadro 10. Critérios de descarte para graus de corrosão e severidade intermediária...31	
Quadro 11. Catálogo de cabos de aço Liftec	36
Quadro 12. Testes de trações horizontais máximas da catenária	37
Quadro 13. Relações cinemáticas em função do raio da polia.....	38
Quadro 14. Propriedades físicas da polia	38
Quadro 15. Torque de partida e potência do motor	39
Quadro 16. Visão geral mancal e rolamento.....	43
Quadro 17. Fator de superfície de Marin	49
Quadro 18. Fator de temperatura	49
Quadro 19. Dimensões NBR 6375	51
Quadro 20. Propriedades aço ASTM A333.....	51
Quadro 21. Tensões e deflexões em função da espessura do corpo da torre	55
Quadro 22. Cargas de prova para parafusos série polegada rosca grossa - UNC	58
Quadro 23. Informações técnicas do parafuso base do mancal.....	61
Quadro 24. Informações técnicas do parafuso do motor	61
Quadro 25. Propriedades metal de solda	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO.....	12
1.2 METODOLOGIA.....	12
2. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
2.1 BONDINHO DE SÃO FRANCISCO, CALIFÓRNIA.....	14
2.2 TELEFÉRICO DE BALNEÁRIO CAMBURIÚ, SANTA CATARINA.....	16
2.3 <i>SUNSET WAKE PARK</i> , GOIÂNIA.....	17
2.4 DIMENSÕES E POSICIONAMENTO DE PROJETO.....	19
3. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1 NBR 8400.....	23
3.1.1 Classificação e cargas sobre as estruturas dos mecanismos.....	23
3.1.2 Verificação à fadiga e seleção de componentes dos mecanismos.....	26
3.1.3 Equipamento elétrico.....	28
3.2 NBR 11099.....	29
3.3 NBR 6375 E 6441.....	30
3.4 NBR 4309.....	30
3.5 NBR 5590.....	32
3.6 GERDAU: PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE CORROSÃO.....	32
4. COMPONENTES E MEMÓRIA DE CÁLCULO.....	34
4.1 O SURFISTA E SEUS ESFORÇOS.....	34
4.2 CABO DE AÇO E A CURVA CATENÁRIA.....	35
4.3 POLIA DE TRANSMISSÃO E MOTOR.....	38
4.4 SELEÇÃO DO MOTOR.....	40
4.5 MANCAIS E ROLAMENTOS.....	42
4.6 EIXO DE TRANSMISSÃO.....	44
4.6.1 Estudo de fadiga do eixo.....	47
4.7 DIMENSIONAMENTO DA CHAVETA.....	50
4.8 DIMENSIONAMENTO DAS TORRES.....	51
4.8.1 Corpo das torres.....	52
4.8.2 Base de fixação.....	55
4.8.3 Chumbadores.....	59
4.8.4 Parafusos do mancal.....	60
4.8.5 Soldagens.....	61
4.9 MONTAGEM E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
5. CONCLUSÃO.....	68

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXO A. GRAMPO CABO DE AÇO.....	72
ANEXO B. CÓDIGO CATÉNARIA	74
ANEXO C. CÓDIGO EIXO	76
ANEXO D. CÓDIGO CORPO DA TORRE.....	78
ANEXO E. TABELA DE TUBOS	80
ANEXO F. DESENHOS TÉCNICOS.....	82
ANEXO G. FOLHA TÉCNICA MOTOR	97

1. INTRODUÇÃO

O Surf é um esporte de origem polinésia que consiste em deslizar sobre as ondas do mar com o auxílio de uma prancha. O número de praticantes desta modalidade tornou-se tão significativo a ponto de ser introduzido como esporte olímpico no ano de 2020. Fontes da “International Surfing Association” (ISA) estimam que existem 23 milhões de pessoas que praticam o surf, sendo que 3 milhões são brasileiros.

Evidentemente, alguns fatores limitam a popularização do Surf ao redor do mundo, pois é praticado apenas em regiões litorâneas, depende fortemente de condições climáticas e da presença de ondas no mar. Por essa razão, praticantes desenvolveram alternativas para suprir o desejo de surfar nos dias não favoráveis, sendo alguns exemplos: *Wakeboard*, *Snowboard* e *Sandboard*.

Interessante pontuar a propulsão que cada modalidade utiliza: *Surf* utiliza ondas para deslocar o atleta, *Wakeboard* da força de lanchas por meio de guias, *Snowboard* e *Sandboard* do declive de montanhas de neve e areia. Dessa forma, é possível refletir sobre a questão da implementação de um sistema com fonte de potência independente das condições climáticas que propulsione um atleta para deslizar sobre qualquer forma de superfície, seja água, areia ou neve.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo viabilizar a prática do Surf na modalidade *Sandboard*, com auxílio de um sistema de movimentação mecânica.

1.2 METODOLOGIA

A concepção do equipamento foi elaborada com base em dois conjuntos de informações: as características próprias do esporte e as condições encontráveis nos ambientes que poderiam influenciar o desempenho do equipamento e viabilizar a prática do *Sandsurf*. Por este motivo, foram analisados contextos em que equipamentos com potenciais de similaridade ao do projeto estiveram em uso, mesmo que para fins diferentes, e também contextos em que o esporte é praticado, com ou sem auxílio de sistemas de movimentação mecânica. Em seguida, foram analisados projetos de máquinas de elevação e movimentação usando cabos de aço e, finalmente, consultadas normas técnicas referente aos diversos componentes do sistema mecânico a ser

projetado. Com base na concepção, nas variáveis de desempenho e nos atributos normalizados de projeto, foi percorrido o ciclo de projeto (esboço, definição da forma, escolha de materiais, dimensionamento, verificação de compatibilidade com os demais elementos, viabilidade comercial) para todos os componentes. Esta etapa foi desenvolvida com auxílio dos softwares Octave e Inventor.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Cabos de aço são amplamente aplicados em diversos segmentos da engenharia, como elevadores, teleféricos, pontes rolantes, aparelhos de musculação, sistema de frenagem e aceleração de automóveis. Por isso, existe uma gama de máquinas de transporte que servem como base para este projeto, além de dispor de abrangentes normas técnicas que as padronizam. Dessa forma, cabe buscar alguns exemplos aplicados ao decorrer dos anos.

2.1 BONDINHO DE SÃO FRANCISCO, CALIFÓRNIA



Figura 1. Bondinho de São Francisco

Fonte: site “Falando de Viagem”.

O bondinho de São Francisco foi uma revolução do meio de transporte no início do século 18. O sistema veio antes do desenvolvimento do primeiro automóvel e foi o principal responsável pela mobilidade urbana da época. Por isso, ainda é utilizado como ponto turístico e marco histórico da cidade.

Para o embasamento do projeto envolvendo máquinas com cabo de aço, motores reativos, acoplamentos e engates, algumas informações foram coletadas do site do museu, hoje localizado na casa de força do bonde na cidade de São Francisco.

O sistema desenvolvido por A.S. Hallidie consiste num cabo de aço, em rotação constante, alocado abaixo do nível da rua que conecta o bondinho à casa de força. Ela conta com um conjunto de engrenagens estacionárias e polias que mantêm uma velocidade constante padrão de 15 km/h.

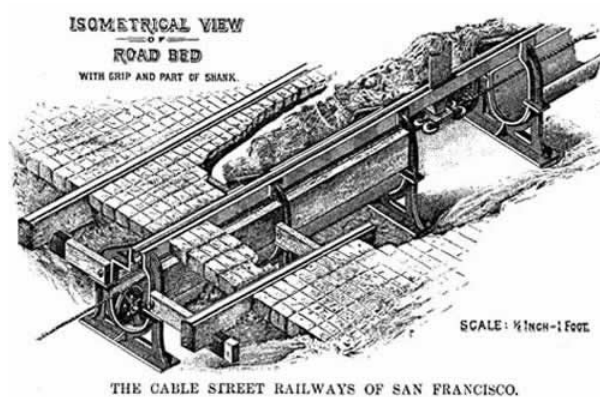


Figura 2. Vista isométrica do sistema cabo de aço

Fonte: Cable Car Museum

O ponto chave é o sistema de engate, significativamente dependente do maquinista. Considerando que o bondinho necessita variar sua velocidade com certa frequência, uma vez que possui diversos pontos de embarque de passageiros e compartilha as vias de circulação com outros veículos, a acoplagem do chassi ao cabo de aço é baseada no atrito dinâmico. O condutor dispõe, além de um sistema de frenagem, de uma manivela responsável por pressionar o engate ao cabo e regular o atrito entre os componentes. Ou seja, numa situação de não deslizamento, o bonde se locomove na velocidade máxima de 15 km/h do cabo de aço, caso contrário, numa velocidade inferior.

Interessante pontuar a antiguidade desse sistema, elaborado nos anos 1800. Essa interação por atrito dinâmico apresenta alguns riscos de falhas, contornados por sistemas redundantes de frenagem, como também questões complicadas quanto ao desgaste e à recorrência de inspeções e manutenções.

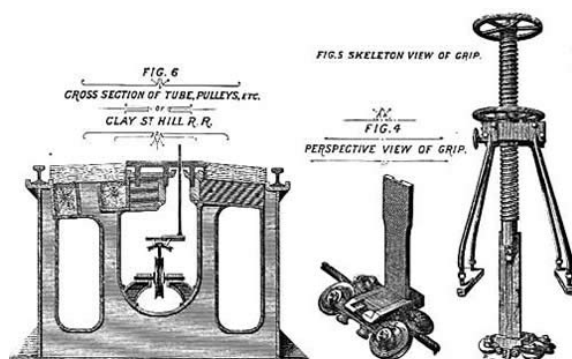


Figura 3. Vista seccionada do sistema do bondinho

Fonte: Cable Car Museum

2.2 TELEFÉRICO DE BALNEÁRIO CAMBURIÚ, SANTA CATARINA



Figura 4. Teleférico de Balneário Camburiú

Fonte: Parque Unipraias

Os teleféricos, de forma geral, possuem poucas estações de embarque em comparação ao bondinho, além de não dividir trânsito com outros meios de transporte por estar suspenso por torres espaçadas ao longo do percurso. Dessa forma, já aparecem algumas questões diferentes entre os dois projetos de cabo de aço apresentados.

Entre as principais diferenças está a não necessidade de variar a velocidade durante o percurso de uma estação a outra. Ou seja, o engate da cúpula ao cabo de aço é rígido e não existe o atrito dinâmico. Quando findado o percurso em cada estação, as cúpulas são desacopladas por um sistema de mola (Figura 5) e direcionadas a uma esteira de velocidade reduzida. Ao entrar na esteira da estação, as molas são comprimidas a partir da interação dos rolamentos com os trilhos e liberam a pinça que comprime o cabo de aço.



Figura 5. Sistema de molas para engate

Fonte: Gabriel Briguiet

2.3 SUNSET WAKE PARK, GOIÂNIA

O Sunset Wake Park é o modelo de referência que inspirou este projeto. Consiste num complexo que possui duas pistas para a prática esportiva no formato da Figura 6, no qual o atleta é puxado por uma corda presa ao cabo de aço. Este cabo, por sua vez, é tensionado e passa pelas torres treliçadas de sustentação que definem o percurso da pista.



Figura 6. Wake parque de cabo de aço

Fonte: *Sunset Wake Park*

Existem dois modelos de sistema: circular e direto. Este é um modelo mais simples, que possui apenas duas torres, por meio das quais a experiência da pessoa é limitada a um único disparo do sistema. Por outro lado, o sistema circular proporciona uma experiência prolongada e constante durante a qual o usuário consegue usufruir desde o lazer até emendar manobras sequenciais sobre os obstáculos com o cabo de aço em rotação constante.

Novamente, é interessante observar a questão do engate no cabo de aço nas duas situações. No sistema direto, o suporte da guia do surfista desliza sem que haja em algum momento seu desacoplamento. Essa questão limita a utilização do sistema para apenas uma pessoa por vez. Em contrapartida, o sistema circular possui um

acoplamento dinâmico da guia que permite a utilização do sistema por diversos praticantes, pois as guias são acopladas e desacopladas na estação de controle e embarque. Dessa forma, o sistema circular é mais dinâmico, gera rotatividade e uma experiência mais constante do usuário. Seguem os esboços para melhor ilustração:

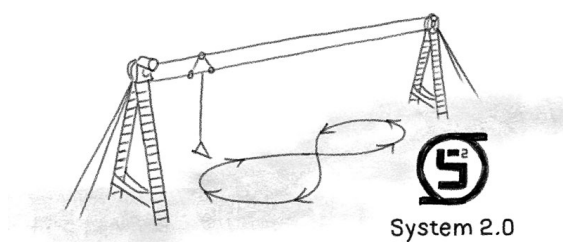


Figura 7. Esboço do sistema direto

Fonte: North Bound Aurich

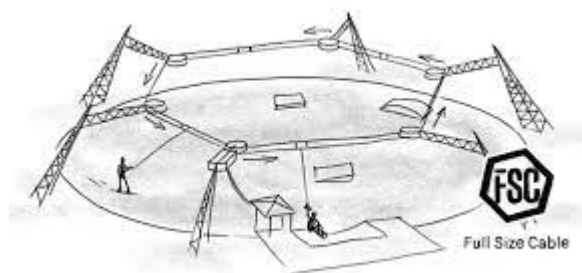


Figura 8. Esboço do sistema circular

Fonte: North Bound Aurich

O projeto de *cable sandboard* será baseado no sistema esboçado na Figura 7, que é composto por duas torres, motor elétrico, guia do surfista e suporte de fixação da guia. O autor, uma vez concluído este trabalho de conclusão de curso, pretende dar continuidade ao trabalho de concepção e montagem de business com base neste estudo e no modelo da Figura 8.

Definido o conceito e ilustrado o sistema com seus principais componentes, segue-se para o estudo das normas técnicas que abordam cabos de aço, projetos de teleférico e máquinas de transporte, respectivamente NBR's 4309, 16334 e 8400.

2.4 DIMENSÕES E POSICIONAMENTO DE PROJETO

O sistema é disposto na areia da praia onde duas torres de sustentação tracionam um cabo de aço, que se movimenta constantemente de forma circular, com sentidos de ida e volta. As dimensões globais estão expostas na figura 9.

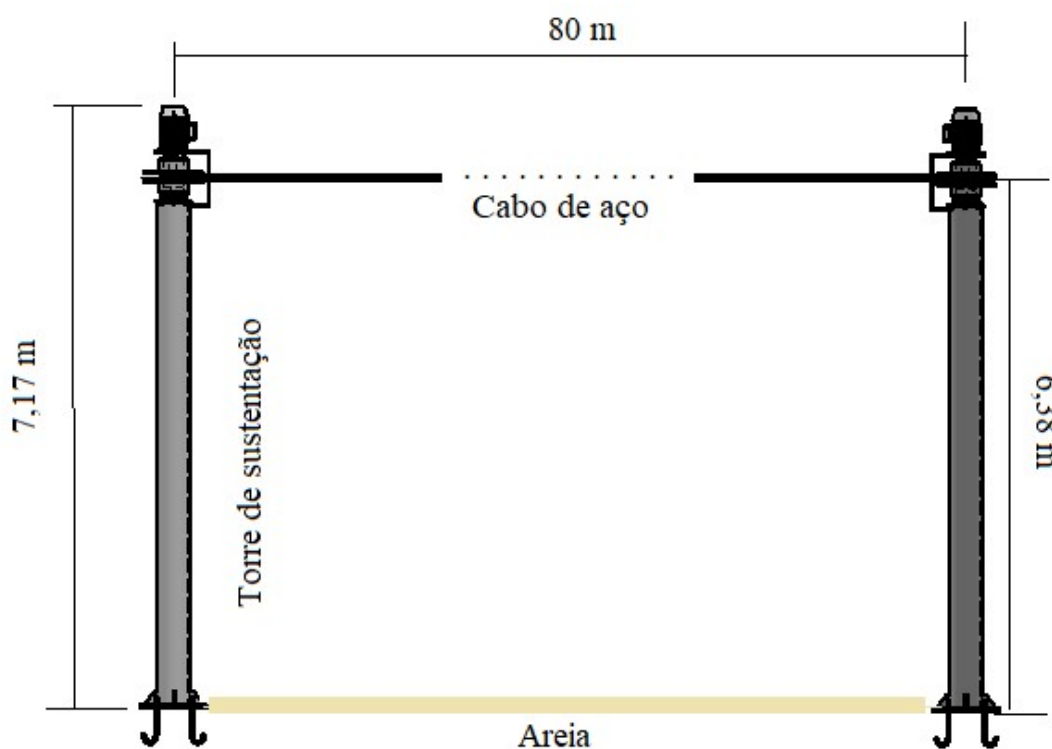


Figura 9. Disposição e dimensões globais do Sistema

Observa-se que as torres distam de 80 metros e conectam os dois sentidos de movimento do cabo de aço por meio de polias, mantendo-o em rotação.

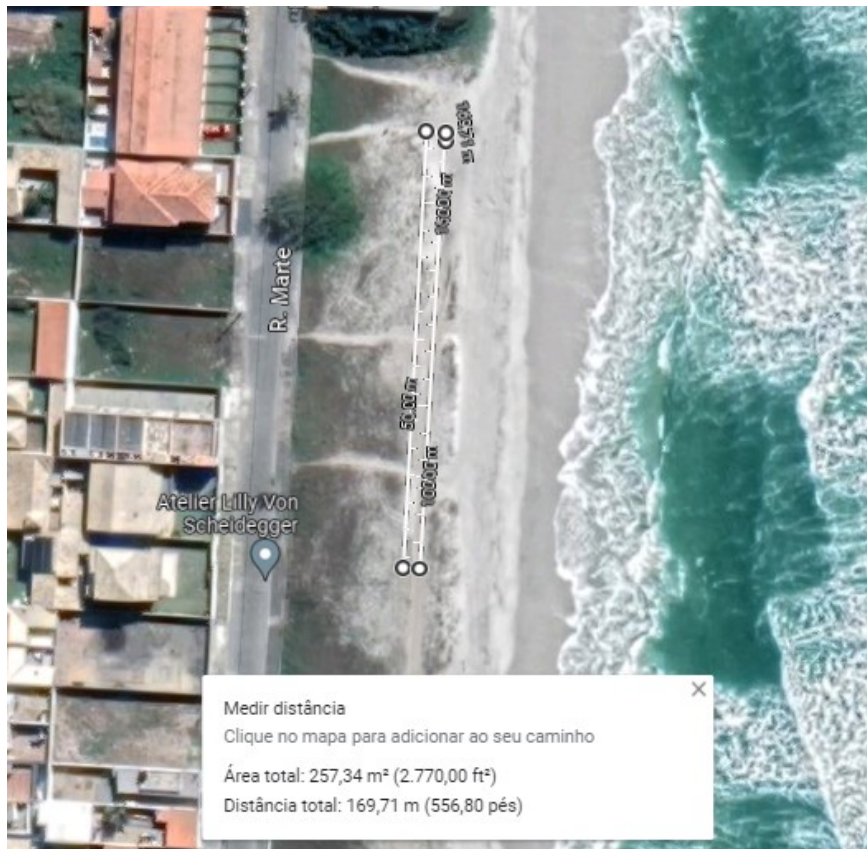


Figura 10. Região de ocupação do sistema

Fonte: Google Earth

A Figura 10 indica a região, compreendida entre as linhas brancas espessas, em que o projeto será posicionado. Observa-se uma área livre de obstáculos e com espaço tanto longitudinal quanto latitudinal para deslocamento do surfista.

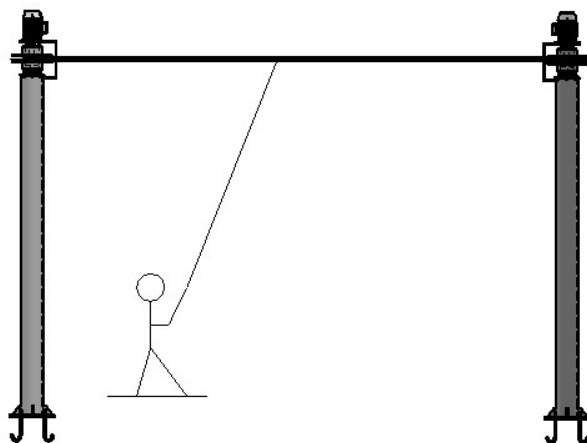


Figura 11. Configuração do funcionamento do Cable Park

As análises de forças, com base na figura 11, se iniciam a partir da carga de deslocamento (surfista) e seguem a sequência: suporte da guia, cabo de aço, polia de transmissão, motor e torre.

- a) Surfista: exposto a forças provenientes do solo de areia de praia e tração proporcionada na guia. A força de tração na guia deve ser capaz de promover uma aceleração de 0,5 metros por segundo ao quadrado no surfista. A frenagem do surfista é exclusivamente feita pelo atrito da prancha com a areia. As ações de vento sobre o surfista são desconsideradas, uma vez que configura uma carga sobre movimentos verticais do surfista pouco relevantes para cálculo.
- b) Suporte da guia: é um componente fixo ao cabo de aço que possui uma extensão abaixo da direção do cabo que acopla a guia e permite o livre deslocamento do surfista. Além disso, promove o transporte de esforços de tensão na guia para o cabo de aço.
- c) Cabo de aço: exposto a esforços do suporte da guia, atrito entre os tambores e ações do vento.
- d) Polias de transmissão: componente exposto a esforços de atrito com o cabo de aço e do eixo que os conectam ou ao motor ou à treliça.
- e) Motor: dois motores expostos aos esforços e inércias das polias e torres.
- f) Torre: exposta a esforços de motor, polia e ações do vento. Além disso, as torres devem possuir um material amortecedor que receba o impacto de uma eventual não frenagem do surfista.

O surfista inicia o movimento em pé sobre a areia a partir da torre motora e se desloca, de forma direta, à torre oposta. Após percorrer 15 metros, alcançará a velocidade máxima e, a partir deste momento, pode soltar-se voluntariamente da guia até uma distância limite a ser determinada. Essa distância limite é a margem de segurança para que seja evitado um impacto muito forte entre o surfista e os aparatos amortecedores na treliça oposta. Uma vez liberada a guia por parte do surfista, esta retorna ao ponto de partida no final do percurso de ida e inicia o retorno pelo sentido contrário do tambor/cabo de aço, que não se desacopla do sistema. Nesse sentido, as torres, motor e tambores não se deslocam transversalmente, sendo a movimentação restrita apenas ao surfista, guia, suporte da guia e cabo de aço.

3. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

As normas técnicas definem padrões a serem seguidos e procedimentos a serem realizados durante o projeto, auxiliando o fabricante a identificar as análises que devem ser feitas e cálculos que são desnecessários.

Alguns parâmetros devem ser pré-estabelecidos com o intuito de adequar o projeto às normas abrangentes. Ademais, alguns fatores de projeto também devem ser ponderados sobre cada parâmetro para que se possam objetivar os pontos críticos durante o desenvolvimento da máquina.

As duas torres de sustentação, cabos de aço e motor elétrico serão expostos a um ambiente agressivo e a materiais mecânicos e elétricos. A região praiana de Cabo Frio tem por características forte influência da maresia, areia, ventos fortes com máximas de 80 quilômetros por hora e temperaturas que variam entre 19 °C e 30 °C durante o ano, segundo dados do INMET. A Figura 12 mostra a localização de implantação do sistema de Sandboard, compreendendo uma distância de 80 metros de percurso.



Figura 12. Cancela 4, Praia do Foguete, Cabo Frio

Fonte: Google Earth

3.1 NBR 8400

A NBR 8400 se refere a equipamentos de elevação e movimentação de carga. É dividida em 5 partes, com os seguintes temas: classificação e cargas sobre as estruturas dos mecanismos, verificação das estruturas ao escoamento, verificação à fadiga e seleção de componentes dos mecanismos, equipamento elétrico e cargas para ensaio e tolerâncias de fabricação. Com o intuito de direcionar o conteúdo de cada parte ao projeto de forma objetiva, cabe selecionar fragmentos que foram considerados em cada seção desta norma técnica.

3.1.1 Classificação e cargas sobre as estruturas dos mecanismos

A composição da NBR 8400.1 tem por objetivo distinguir a grande variedade de máquinas existentes. Tem-se como bom senso que uma máquina de cargas pesadas e altas velocidades não pode possuir os mesmos parâmetros e dimensões de uma máquina de pequeno porte que atua em eventos ocasionais. Por essa razão, foi adotado um sistema que possui 8 níveis de classificação.

O número do nível de classificação está proporcionalmente relacionado às cargas e tempo de utilização do equipamento como um todo e dos mecanismos individuais em geral. Isto é, quanto maiores as cargas e tempos de utilização, maior a classificação do sistema.

O equipamento como um todo tem similaridade com força e tempos de utilização similares a equipamentos industriais de elevação ou equipamentos de oficina em geral. Logo, pode ser classificado como U5, conforme orientações apresentadas em norma.

Os mecanismos individuais para movimentação de translação, de mesma similaridade comentada no parágrafo anterior, classificam-se por M5, conforme orientação em norma. Essa classificação será determinante para a seleção do cabo de aço em relação ao fator de segurança Z_p .

Mais adiante, a norma estabelece relações cinemáticas aos movimentos transversais e longitudinais. O Quadro 1 relaciona a velocidade aos tempos de aceleração e valores de aceleração que devem ser obedecidos.

Quadro 1. Tempos de aceleração e valores da aceleração

Velocidade a ser atingida m/s	Velocidade baixa e moderada com deslocamento longo		Velocidade moderada e alta (aplicações normais)		Alta velocidade com acelerações altas	
	Tempo de aceleração s	Aceleração m/s ²	Tempo de aceleração s	Aceleração m/s ²	Tempo de aceleração s	Aceleração m/s ²
4,00			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

Fonte: NBR 8400:1

Considerando que o sistema deve chegar a velocidades moderadas e com acelerações moderadas, com a finalidade de amenizar o impacto de partida do sistema para o surfista, determinou-se uma velocidade de $4 \frac{m}{s}$ e aceleração de $0,5 \frac{m}{s^2}$. Essa relação cinemática será revisitada na sessão da polia de transmissão e motor, em que há o estudo de rotação do sistema girante.

Aproveitando o contexto de abordagem cinemática, a norma segue para considerações sobre os efeitos do vento sobre a estrutura. Existem duas divisões estabelecidas: sistema fora de serviço e sistema em serviço.

O sistema em serviço adota um conceito de pressão do vento regido pela fórmula $q = 0,613 V_s^2$, em que V_s representa a velocidade do vento projetada expressa em metros por segundo. O Quadro 2 demonstra a máxima pressão do vento permitida para tipos de equipamentos em operação.

Quadro 2. Pressão do vento de projeto de operação

Tipo de equipamento	Pressão do vento operacional N/m ²	Velocidade do vento operacional m/s
Equipamentos de içamento facilmente protegidos contra a ação do vento ou projetados exclusivamente para uso em vento leve Operações de montagem	125	14
Todos os tipos de equipamentos normais instalados ao ar livre	250	20
Equipamentos que devem continuar a operar com ventos fortes ^a	500	28

Fonte: NBR 8400:1

O sistema fora de serviço expressa o vento máximo, em condições de tempestade, para o qual o equipamento há de permanecer estável. A pressão do vento varia em relação à altura do equipamento acima do nível do solo, conforme Quadro 3.

Quadro 3. Altura acima do solo x pressão do vento fora de serviço

Altura acima do nível do solo m	Pressão do vento de projeto fora de serviço N/m ²	Velocidade aproximada equivalente do vento de projeto fora de serviço m/s
0 a 20	800	36
20 a 100	1 100	42
Mais de 100	1 300	46

Fonte: NBR 8400:1

No estudo dimensional da torre de sustentação, foi definida uma altura de 6 metros. Nesse sentido, adotando uma postura mais conservativa de projeto, foi considerada uma pressão do vento $q = 800 \frac{N}{m^2}$, conforme orientação do Quadro 3.

Seguindo no estudo sobre a carga do vento, a norma NBR 8400.1 declara uma relação entre área do equipamento sobre a qual o vento atua (A), pressão do vento (q) e coeficiente aerodinâmico (C_f).

$$F = A * q * C_f \quad (1)$$

Como o projeto prevê um elemento individual de seção circular, denominado “corpo da torre” mais adiante, a norma determina o coeficiente aerodinâmico com auxílio da relação de esbelteza ($\frac{l}{D} = \frac{\text{altura da torre}}{\text{diâmetro da torre}}$), a partir do Quadro 4.

Quadro 4. Coeficientes aerodinâmicos

Descrição	Esbelteza aerodinâmica l/b ou l/D^a						
	≤ 5	10	20	30	40	50	> 50
Seções laminadas	1,15	1,15	1,3	1,4	1,45	1,5	1,6
Seções quadradas vazadas até 356 mm e retangulares de 254 mm x 457 mm	1,4	1,45	1,5	1,55	1,55	1,55	1,6
Outras seções	1,30	1,35	1,6	1,65	1,70	1,80	1,80
Seções circulares onde:							
$D \times V_S < 6 \text{ m}^2/\text{s}$	0,60	0,70	0,80	0,85	0,90	0,90	0,90
$D \times V_S \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$	0,60	0,65	0,70	0,70	0,75	0,80	0,80

Fonte: NBR 8400:1

A esbelteza da torre foi dimensionada para em um fator de 15, em paralelo ao produto diâmetro x velocidade do vento equivalente a 8,88. Com base no Quadro 4, o projeto prevê um coeficiente aerodinâmico $C_f = 0,7$.

Tratou-se também do dimensionamento da área da seção transversal para que se chegasse ao valor da carga do vento sobre a estrutura do projeto. Como foi determinado um diâmetro, no capítulo 4 seção 8, de 400 milímetros e altura de 6 metros do corpo da torre. A área da seção transversal possui, em metros quadrados, um valor de $A = 2,4 \text{ m}^2$. Dessa forma, foi obtido, por meio de norma, a carga de vento $F = 1344 \text{ N}$.

3.1.2 Verificação à fadiga e seleção de componentes dos mecanismos

A NBR 8400.3 estabelece regras para a seleção de componentes submetidos ao desgaste e verificações a serem efetuadas para os elementos mecânicos. Essa parte da norma foi fundamental para a seleção do cabo de aço, tanto para a determinação do fator de segurança mínimo exigido para componentes mecânicos de classe M5 quanto para a determinação da classe do cabo de aço relacionado ao diâmetro mínimo de enrolamento exigido, conforme Quadros 5 e 6.

Quadro 5. Fator de segurança Z_p

Grupo de mecanismo	Valor mínimo Z_p	
	Cabos móveis	Cabos estáticos
M1	3,15	2,5
M2	3,35	2,5
M3	3,55	3
M4	4	3,5
M5	4,5	4
M6	5,6	4,5
M7	7,1	5
M8	9	5

Fonte: NBR 8400:3

Foi definida, na secção 4.3, uma polia de transmissão para fornecer a rotação do cabo de aço. Partindo desse fato, determinou-se um coeficiente H a ser aplicado na fórmula $D \geq H * d$, que determina o diâmetro mínimo primitivo de enrolamento em polias.

Adiantando um dado calculado (na secção 4.2), foi dimensionado um diâmetro de cabo de aço $d = 38 \text{ mm}$ para um fator $H = 22,4$. Dessa forma, o cabo de aço deve ser enrolado por um comprimento mínimo equivalente a 1,25 metros de comprimento.

Quadro 5. Coeficiente para polias e tambores

Grupo de mecanismo	Tambores		Polias		Polias de compensação	
	Cabo normal	Cabo resistente à rotação ou cabos	Cabo normal	Cabo resistente à rotação ou cabos	Cabo normal	Cabo resistente à rotação ou cabos
	6 × 36/ 6 × 41/ 8 × K26/ 8 × K36/ 6 × K36/ 6 × K41	6 × 19/ 6 × K26	6 × 36/ 6 × 41/ 8 × K26/ 8 × K36/ 6 × K36/ 6 × K41	6 × 19/ 6 × K26	6 × 36/ 6 × 41/ 8 × K26/ 8 × K36/ 6 × K36/ 6 × K41	6 × 19/ 6 × K26
M1	11,2	12,5	12,5	14	11,2	12,5
M2	12,5	14	14	16	12,5	12,5
M3	14	16	16	18	12,5	14
M4	16	18	18	20	14	14
M5	18	20	20	22,4	14	16
M6	20	22,4	22,4	25	16	16
M7	22,4	25	25	28	16	18
M8	25	28	28	31,5	18	20

Fonte: NBR 8400:3

Por fim, a NBR 8400.3 determina o raio do fundo das polias de transmissão a partir da relação $r = 0,53 * d$. Dessa forma, o dimensionamento do gorne da polia foi definido como $r = 20,14 \text{ mm}$. Além disso, para efeitos de atrito, a polia e o cabo devem considerar um coeficiente de atrito estático $\mu = 0,1$ entre si.

3.1.3 Equipamento elétrico

A NBR 8400.4 estabelece as regras para instalações elétricas de baixa tensão de equipamentos de elevação. Basicamente essa parte da norma foi utilizada para determinar as fórmulas de potência e torque que futuramente selecionam os motores do projeto.

O torque médio “M” ($N.m$) é determinado pela norma técnica em função da velocidade “v” ($\frac{m}{s}$) e aceleração “a” ($\frac{m}{s^2}$) do sistema, trações no cabo de aço “w” (N), massa de deslocamento “m” (kg), rotações “ n_m ” (rpm) e rendimento do motor “ η ”.

$$M = \frac{[a * m + W] * v * 60}{2 * \pi * n_m * \eta} \quad (2)$$

A potência média (kW) é determinada pela norma técnica em função do torque médio e rotação do sistema.

$$P_{med} = \frac{M_{med} * n_m}{9550} \quad (3)$$

Por fim, determina-se um coeficiente de ampliação q_m de torque que tem o objetivo de considerar esforços de atrito, forças de vento e aceleração/frenagem de forma conservativa, conforme Quadro 7.

Quadro 6. Coeficiente de ampliação

Grupos dos mecanismos	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
q_m	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,25	1,30

Fonte: NBR 8400:4

Para um grupo de mecanismos M5, o coeficiente de ampliação tem valor 1,16.

3.2 NBR 11099

Essa norma fixa as condições e requisitos mínimos exigíveis para a aplicação, inspeção e aceitação de grampos pesados para cabos de aço. O projeto é composto por um cabo de aço único que possuirá um movimento periódico, passando entre as polias de transmissão. Nesse sentido, a ponta inicial e final devem ser unidas por grampos a fim de fechar o sistema.

A Figura 13 demonstra a união e montagem de dois segmentos de cabo de aço. Embora esboce um olhal, diferentemente da ideia de união de pontas do projeto, permite uma visualização do funcionamento desses grampos.

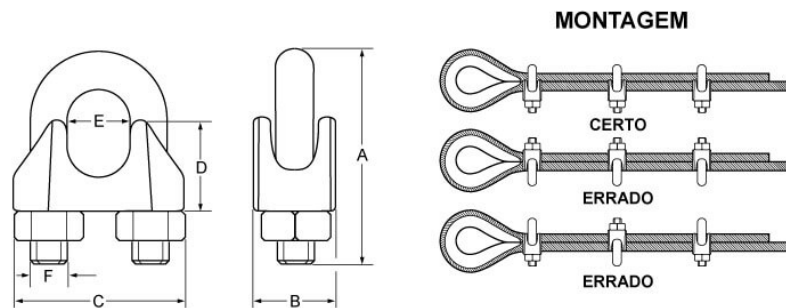


Figura 13. União de segmentos de cabo por meio de grampos

Fonte: site "Estudio 86"

Foi determinado, na seção 4.2, um cabo de 38 milímetros de diâmetro nominal. Nesse sentido, para adequação a esta norma, são definidos oito grampos espaçados de 229 milímetros com diâmetros de rosca M22. A loja Siva possui em seu catálogo produtos correspondentes ao exigido, conforme anexo A.

Quadro 7. Quantidade de grampos, espaçamentos e torques de aperto

TN	Quantidade de grampos	Espaçamento (L) (mm)	Diâmetro da rosca	Torque			
				Trabalho		Ensaio	
				Nm	kgfm	Nm	kgfm
3,2	2	19	M6	8	(0,8)	10	(1,0)
4,8		29					
6,4		38	M8	20	(2,0)	28	(2,8)
8,0		48					
9,5		57	M10	40	(4,0)	58	(5,8)
11,5		67					
13,0	3	76	M12	75	(7,5)	100	(10,0)
14,5		86	M14	120	(12,0)	150	(15,0)
16,0		95					
19,0	4	114	M16	180	(18,0)	230	(23,0)
22,0		133					
26,0	5	152	M20	310	(31,0)	400	(40,0)
29,0	6	172					
32,0	7	191	M22	450	(45,0)	600	(60,0)
35,0		210					
38,0		229					
42,0	8	248	M24	580	(58,0)	780	(78,0)
45,0		267	M27	820	(82,0)	1100	(110,0)
52,0		305					
58,0		343	M30	1040	(104,0)	1580	(158,0)

Fonte: NBR 11099

3.3 NBR 6375 e 6441

Essas normas técnicas, em conjunto, foram seguidas tanto no dimensionamento das larguras e profundidades dos rasgos e chaveta, como também nas tolerâncias dimensionais.

3.4 NBR 4309

Essa norma estabelece princípios gerais para cuidados, manutenção, inspeção e descarte de cabos de aço. Fadigas por flexão, resistências de rotação, diminuição do diâmetro e corrosões são responsáveis pela deterioração dos cabos e, por isso, devem sofrer acompanhamento periódico e registros dessas ações. O Quadro 9 estabelece alguns tipos de danos que um cabo de aço pode sofrer e associa a algum método de avaliação.

Quadro 8. Tipo de dano x métodos de avaliação

Tipo de dano	Métodos de avaliação
Número de arames rompidos visíveis (incluindo aqueles que são distribuídos aleatoriamente, agrupamentos localizados, arames rompidos no vale e aqueles que estão próximos da terminação)	Por contagem
Perda de área metálica causada por arames rompidos	Inspeção visual, eletromagnética (MRT)
Diminuição do diâmetro do cabo (resultante do desgaste externo/abrasão, desgaste interno e deterioração do núcleo)	Por medição
Perda de área metálica causada por mecanismo diferente de arames rompidos, por exemplo, corrosão, desgaste etc.	Inspeção visual, eletromagnética (MRT)
Perna(s) rompida(s)	Visual
Corrosão (externa, interna e por fricção)	Inspeção visual, eletromagnética (MRT)
Deformação	Visual e por medição (somente ondulação)
Danos mecânicos	Visual
Danos pelo calor (incluindo arco elétrico)	Visual

Fonte: NBR 4309

O dano por corrosão ocupa uma atenção maior da norma e, por essa razão, é dividida em três macro tipos: externa, interna e fricção. O Quadro 10 adota critérios de descarte para cada um dos modos de corrosão apresentados.

Quadro 9. Critérios de descarte para graus de corrosão e severidade intermediária

Tipo de corrosão	Condição	Grau de severidade
Corrosão externa ^a	Sinais de oxidação da superfície, mas que podem ser limpos Superfície de arame áspera para tocar Superfície dos arames com pites severos e arames folgados^b	Superficial — 0 % Alta — 60 % ^c Descarte — 100 %
Corrosão interna ^d	Sinais visíveis óbvios de corrosão interna - ou seja, resíduos de corrosão que saem dos vales entre as pernas externas^e	Descarte — 100 % ou se for considerado praticável pela pessoa qualificada, dever ser feito exame interno de acordo com o procedimento descrito em 6.3 ou Anexo C
Corrosão de fricção	O processo de atrito envolve a remoção de partículas finas de aço dos arames devido a arames e pernas sem lubrificação que se atritam constantemente e, em seguida, oxidam e criam resíduo de corrosão interna, que se manifesta como um pó seco, semelhante a um vermelho acentuado.	Evidências desta característica devem ser investigadas e se houver alguma dúvida sobre sua gravidade, convém que o cabo seja descartado (100%).
^a Por exemplo, ver as Figuras B 6 e B.7. Para um exemplo da progressão da corrosão externa em um cabo, ver o Anexo I ^b Para qualquer outra condição intermediária, uma avaliação deve ser feita quanto à sua classificação de gravidade (ou seja, contribuição para o efeito combinado). ^c A oxidação de arames revestidos com zinco pode resultar em uma superfície de arame que também é áspera ao toque, mas a condição geral pode não ser tão séria quanto os fios que não são revestidos. Nesses casos, o inspetor pode considerar a aplicação de uma contribuição menor para o efeito combinado aquela dada acima nesta Tabela. ^d Para um exemplo, ver Figura B 8 ^e A avaliação da corrosão interna é subjetiva sem inspeção eletromagnética. No entanto, se houver alguma dúvida sobre a gravidade de qualquer corrosão interna, convém que o cabo seja descartado.		

Fonte: NBR 4309

3.5 NBR 5590

Essa norma técnica fixa as condições exigíveis para fabricação e fornecimento de aço carbono com ou sem costura. Ela foi necessária para verificar a existência de tubos que poderiam vir a ser selecionados a partir do dimensionamento do corpo da torre.

3.6 GERDAU: PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE CORROSÃO

O material fornecido pela Gerdau aborda de forma completa os tipos de corrosão e classifica alguns deles como os mais comuns em metais de estruturas mecânicas: corrosão uniforme, corrosão por frestas e corrosão galvânica.

A corrosão por frestas atenta para os pontos de soldagem dos componentes. Com o intuito de evitar corrosões em tolerâncias dimensionais, utilizam-se soldas para que o meio aquoso e salino da maresia não tenha um acesso frestas e, por consequência, corroa o material.

A corrosão galvânica é abordada de forma bastante completa, embasando teoria desde as reações catódicas até tabelar materiais que servem como metais de sacrifício para preservar a integridade dos materiais mecânicos. O ambiente de maresia em que o projeto está localizado é propício para a oxidação de metais e, consequentemente, corrosão e enferrujamento.

A figura 14 demonstra a série galvânica para diversos elementos, destacando o aço carbono. Lê-se que o Zinco e o Cádmio possuem maior potencial de oxidação que os materiais mecânicos em geral, logo funcionam como bons metais de sacrifício para o projeto.

Portanto, foi selecionado para o projeto o aço galvanizado ASTM A333. Esse material passa pelo processo de galvanização, que consiste na imersão a quente em solução de zinco. Dessa forma, estabelece-se uma camada fina de zinco na superfície do aço que previne a corrosão e degradação das propriedades físicas dos componentes do sistema.

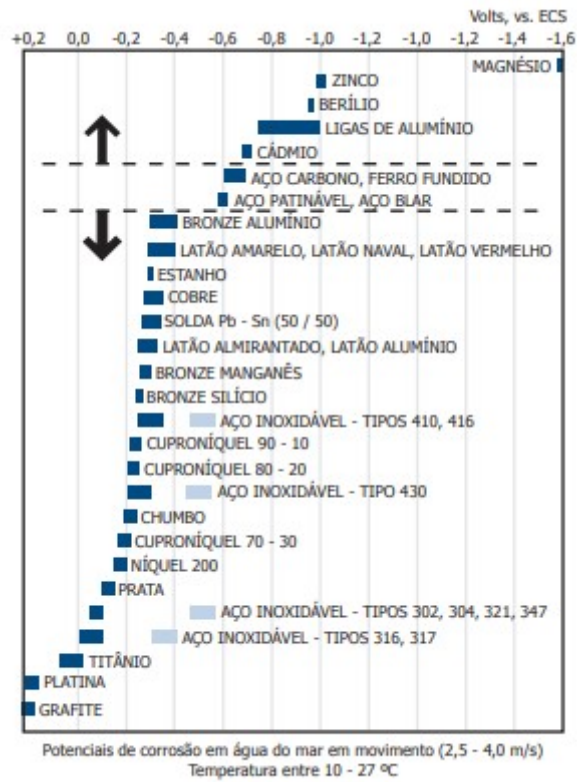


Figura 14. Série galvânica para diferentes materiais e ligas

Fonte: Gerdau

4. COMPONENTES E MEMÓRIA DE CÁLCULO

Os cálculos, dimensionamentos e componentes do mecanismo são apresentados nesta sessão a partir de algumas condições pré-estabelecidas que modelam todo o problema.

Cabo de aço, motores, mancais e tubos são itens do projeto que possuem amplo desenvolvimento comercial e serão selecionados conforme disponibilidades de mercado. Nesse sentido, cabe conciliar o dimensionamento e as especificações comerciais de forma a utilizar os produtos disponíveis.

4.1 O SURFISTA E SEUS ESFORÇOS

As pranchas de snowboard são feitas principalmente de espuma de madeira ou compensado naval. Por essa razão, cabe ponderar as forças decorrentes do seu deslizamento sobre a areia da praia.

É possível aproximar a areia a um fluido entre placas paralelas, nas quais a superior está a velocidade máxima de 4 metros por segundo proposta pelo sistema e a inferior, estática. Segue o conceito de tensão cisalhante ilustrado:

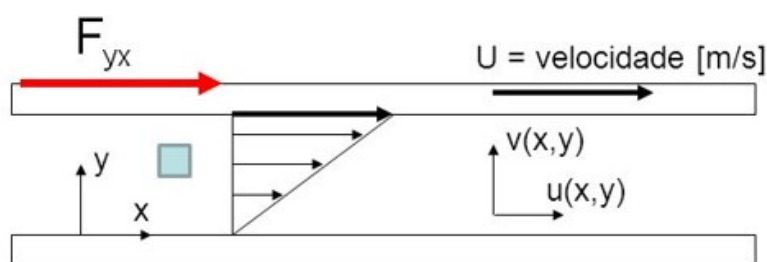


Figura 15. Ilustração da tensão cisalhante

Fonte: site "Research Gate"

A tensão cisalhante se dá pela relação " $\tau = \mu * \frac{v}{y}$ ", em que os parâmetros são a velocidade da placa, profundidade de movimentação da areia e viscosidade da areia. Foram estimadas profundidades de movimentação não superiores a 200 mm e as pranchas para pessoas com massa de 85 kg medem 1600x500 mm. Sendo assim, a força

de resistência do solo “ $F = 20 * 0,8 * \mu = 1,6\mu \text{ Newtons}$ ”. A viscosidade da areia pode ser aproximada por um teste de vazão de água e outro de areia: por um funil, calcula-se o tempo que leva para encher um recipiente de igual volume. Então, a razão de tempo é diretamente proporcional à razão da viscosidade. A água possui uma viscosidade de 0,891 centipoise e levou aproximadamente 4 vezes menos tempo que a areia. Logo $\mu = 3,564$ centipoise ou $\mu = 35,64 \text{ Pa.s} \rightarrow F = 54 \text{ Newtons}$ ”.

Uma vez que o sistema possui uma aceleração de $a = 0,5 \frac{m}{s^2}$, a segunda lei de Newton direciona a tração horizontal aplicada ao surfista $F_{surfista} = 96,5 \text{ Newtons}$.

4.2 CABO DE AÇO E A CURVA CATENÁRIA

A indústria naval e a Marinha enfrentam os mesmos desafios que o projeto em questão, uma vez que ambos estão expostos ao ambiente salino das regiões litorâneas. Barcos de pesca, estaleiros, embarcações e plataformas de petróleo utilizam cabos de aço galvanizados em suas estruturas.

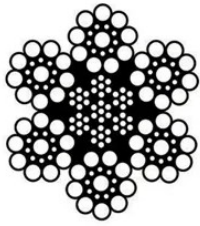
O processo de galvanização é basicamente a aplicação de zinco na superfície do aço com o intuito de evitar a corrosão e aumentar a resistência do material. O zinco é chamado de metal de sacrifício devido ao fato de que ele é oxidado por ser um forte elemento redutor (doador de elétrons).

Os cabos de aço classe 6x19 – alma de aço Seale da Liftec – são produzidos unicamente galvanizados, logo, são funcionais ao ambiente do projeto. O item selecionado possui massa distribuída “ $p = 6,009 \frac{kg}{m}$ ”, diâmetro “ $d = 38 \text{ mm}$ ” e carga de ruptura “ $t_f = 103,3 \frac{N}{mm^2}$ ”.

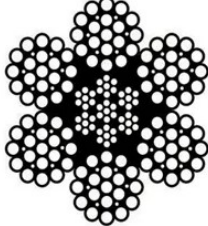
O cabo deverá possuir um comprimento entre de 162 e 165 metros para que seja feita uma união das pontas por meio de grampos configurados conforme determinação da NBR 11099. O Quadro 11 relaciona propriedades físicas ao diâmetro dos produtos catalogados da Liftec.

Quadro 10. Catálogo de cabos de aço Liftec

CABO DE AÇO CLASSE 6x19 - ALMA DE AÇO				
Diâmetro		Massa Aprox. (kg/m)	Carga de Ruptura Mínima (tf)	
mm	pol		1770 N/mm ²	1960 N/mm ²
3,2	1/8"	0,040	0,65	0,73
4,8	3/16"	0,096	1,46	1,64
8,0	5/16"	0,268	-	4,80
9,5	3/8"	0,352	-	6,86
11,5	7/16"	0,519	-	9,30
13,0	1/2"	0,685	-	12,10
14,5	9/16"	0,868	-	15,20
16,0	5/8"	1,058	-	18,70
19,0	3/4"	1,496	-	26,80
22,0	7/8"	2,036	-	36,10
26,0	1"	2,746	-	47,00
29,0	1.1/8"	3,447	-	59,00
32,0	1.1/4"	4,192	-	72,60
38,0	1.1/2"	6,009	-	103,30
42,0	1.5/8"	7,120	-	122,00
45,0	1.3/4"	8,368	-	141,00
52,0	2"	10,921	-	183,70



6x19 Seale



6x25 Filler

PRODUZIDOS CONFORME A NORMA ABNT NBR ISO 2408:2008 |
 CABOS DE DIÂMETRO 3,20 E 4,80MM PRODUZIDOS SOMENTE EM ACABAMENTO GALVANIZADO

O cabo de aço assume um formato de curva catenária, no regime estático, e tem interferência direta na tração aplicada à rotação do motor. Além disso, forma um deslocamento vertical, chamado informalmente de “barriga”, que influencia na geometria e tensões do sistema.

A curva catenária é modelada pela seguinte equação cosseno hiperbólica $y = a * \cosh\left(\frac{x}{a}\right)$, em que x representa o semi-comprimento do cabo exposto ao regime catenário e $a = \frac{T_0}{p}$ relaciona a componente horizontal máxima da tensão (T_0) no cabo com a massa distribuída (p) do mesmo. Por isso, cabe uma análise numérica para encontrar uma tração T_0 que resulte num deslocamento vertical de barriga razoável para o projeto.

A partir do código computacional localizado no anexo A, foram testados valores para a tração horizontal máxima T_0 e encontradas algumas variações máximas do cabo de aço na vertical, conforme o Quadro 12.

Quadro 11. Testes de trações horizontais máximas da catenária

Tração horizontal (N)	Varição vertical (m)
5000	3,38
10000	1,7
15000	1,1
20000	0,9
25000	0,7
30000	0,2

O sexto e último teste foi satisfatório à idealização do projeto e assumiu valores de tração horizontal máxima $T_0 = 30 \text{ kN}$ e variação vertical máxima $\Delta y = 0,2 \text{ m}$. Além disso, com o intuito de ilustrar o comportamento dos deslocamentos ponto a ponto da catenária para um comprimento total entre as polias de 80 metros, segue o gráfico da Figura 16 resultante do código escrito, anexo B.

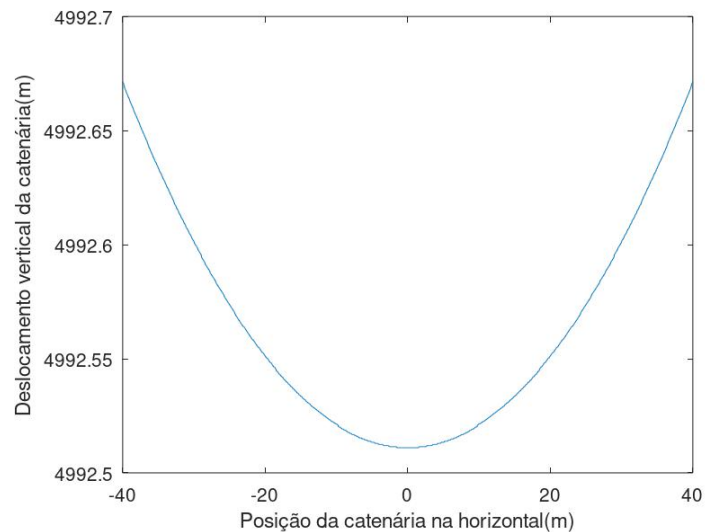


Figura 16. Deslocamento vertical da catenária

A máquina foi classificada anteriormente no grupo de mecanismos M_5 , que determina um fator de segurança Z_p de 4,5 e 4 para cabos dinâmicos e estáticos, respectivamente. Portanto verifica-se um fator de segurança $\frac{t_f}{t} = 4,69$ para o cabo

classe 6x19 selecionado, uma vez que $t_f = 103,3 \frac{N}{mm^2}$ e $t = \frac{4t_g}{\pi d^2} = 22,04 \frac{N}{mm^2}$, logo segue em conformidade com a norma técnica.

4.3 POLIA DE TRANSMISSÃO E MOTOR

A polia é a responsável por transmitir a rotação do motor ao cabo de aço. Por este motivo, seu dimensionamento é pré-requisito para obter tanto a potência como o torque do motor de projeto.

Determinados com base na norma NBR 8400.1, os parâmetros de velocidade e aceleração do cabo de aço determinam os parâmetros angulares cinemáticos da polia em função do raio de rotação (distância entre o eixo da polia e centro do raio de gorne). O Quadro 13 relaciona essas propriedades cinemáticas.

Quadro 12. Relações cinemáticas em função do raio da polia

Raio de rotação (m)	Velocidade angular ($\frac{rad}{s}$)	Aceleração Angular ($\frac{rad}{s^2}$)	rpm
0,1	40,0	5,0	3819,72
0,2	20,0	2,5	954,93
0,3	13,3	1,7	424,41
0,4	10,0	1,3	238,73
0,5	8,0	1,0	152,79

Para o projeto foi selecionado um raio de rotação de 200 milímetros com base nas rotações por minuto determinadas para a polia. Essa rotação (*rpm*) já representa valores bastante compatíveis com a rotação do motor selecionado na secção 4.4.

Outro fator que influencia diretamente nos cálculos é o momento de inércia de massa da polia de transmissão. Com base nas NBR 8400 e 6389, a polia foi modelada através do Inventor para que fossem fornecidos numericamente dados de suas propriedades físicas, apresentadas no Quadro 14.

Quadro 13. Propriedades físicas da polia

Massa	Massa específica	Inércia de massa
226,5 kg	7,89 g/cm ³	8,64 kg.m ²

A Figura 17 representa o diagrama de corpo livre da polia. A partir da análise dos carregamentos angulares e lineares, são calculados o conjugado de partida mínimo do motor e a tensão de compressão proporcionada pelo eixo e cabo de aço em relação à polia de transmissão.

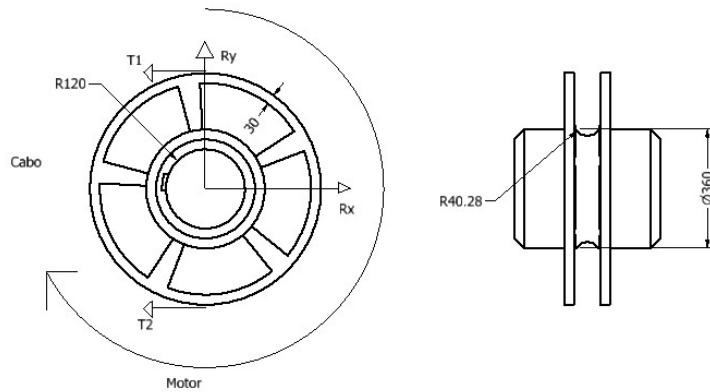


Figura 17. Diagrama de corpo livre da polia de transmissão

O torque proporcionado pela descompensação do cabo de aço na partida do sistema pode ser relacionado a partir dos parâmetros: ângulo de abraçamento $\beta = \pi$ e atrito estático entre polia e cabo de $\mu = 0,1$, determinado pela NBR 8400.3.

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\beta} \rightarrow \begin{matrix} T_1 = 30000 \text{ N} \\ T_2 = 21897 \text{ N} \end{matrix} \quad (4)$$

Em conjunto com a NBR 8400.4, a descompensação calculada acima pode ser convertida em potência média do motor e torque de partida, de acordo com as fórmulas 2 e 3, apresentadas na revisão bibliográfica. Dessa forma, o Quadro 15 apresenta a potência e torque mínimo de partida do motor.

Quadro 14. Torque de partida e potência do motor

Torque de partida (N.m)	81,11
Potência média (C.V)	8,82

4.4 SELEÇÃO DO MOTOR

Os motores Weg são classificados por 10 características distintas: potência, rotação, tensão, frequência, grau de proteção, carcaça, formas construtivas, classes de isolamento, ventilação e flanges.

- a) Potência: definida a partir dos diagramas de corpo livre e equilíbrio de torques. Mínimo exigido de 8,82 cv.
- b) Rotação: definida a partir da velocidade de operação e diâmetro da polia rotativa. Exigência de 955 rotações por minuto. Dependendo da disponibilidade de produtos, a utilização de um redutor pode ser necessária.
- c) Tensão: o motor trifásico é o único que alcança a potência mínima exigida. Motores monofásicos são limitados.
- d) Frequência: padrão brasileiro de 60 Hz.
- e) Grau de proteção: os graus de proteção definem os sentidos de rajadas e respingos a que o motor resiste. Devido ao ambiente próximo ao mar e arenoso, graus iguais ou superiores aos modelos IPW55 são ideais.
- f) Carcaça: é definida a partir da potência e rotação do motor de forma diretamente proporcional. Quanto maior a carcaça, maiores são esses parâmetros.
- g) Formas construtivas: deve possuir configuração V1 pois há de ser posicionado na vertical.
- h) Classes de isolamento: o padrão B da Weg já é suficiente para cobrir a agressão térmica à qual o ambiente do projeto é exposto.
- i) Ventilação: deve ser totalmente fechado com ventilação externa, modelo TFVE.
- j) Flanges: devido à disposição do eixo e polia do projeto, o motor há de ser flangeado de forma vertical, modelos FF.

A Figura 18 apresenta o motor selecionado, que esboça a relação de torque e rotação do motor, e é utilizada para determinar a potência e rotação solicitadas ao motor para que sejam obtidos os valores de torque de partida a **81,11 N.m**. A solicitação S_m prevista na NBR 8400.4 define uma margem de segurança de $S_m = 81,11 * 1,16 = 94,1 N.m$.

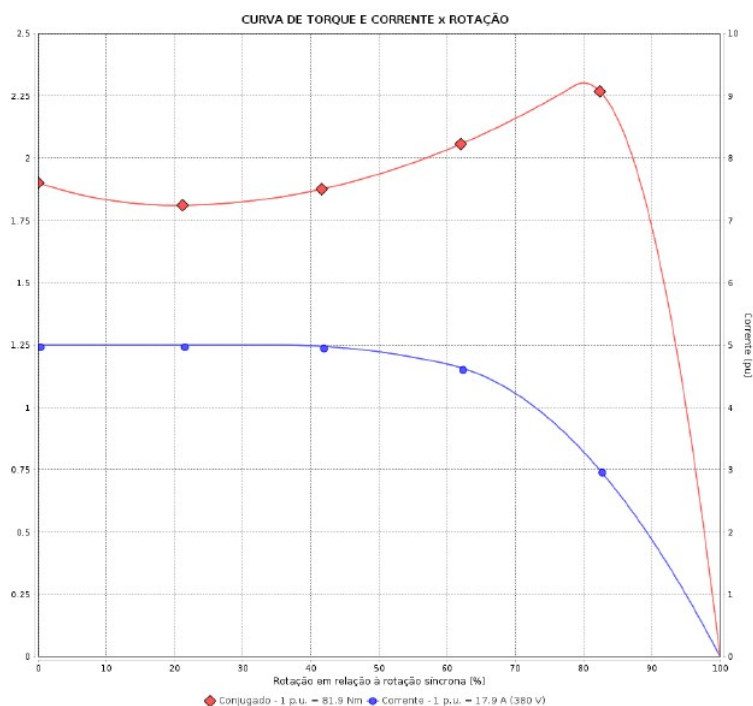


Figura 18. Conjugado de partida do motor

Fonte: site WEG

O conjugado de partida do motor alcança um valor máximo de 190% do torque nominal. Nesse sentido, pode fornecer um valor máximo de **155,6 N.m** quando o valor exigido pelo projeto equivale a 60,4% do conjugado de partida máximo. Transferindo esses valores para a figura 18, onde **1 p.u. = 81,9 N.m**, a partida do sistema exigirá um conjugado de **1,15 p.u** e uma rotação de cerca de 95% da síncrona, isto é, **831,25 rpm**.

Dessa forma, o motor W22 IR3 Premium 10 cv 8P 160L 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B35D, representado na Figura 19, atende às exigências do projeto tanto na partida do sistema quanto na situação de estabilidade. São necessários dois motores para vencer as inércias das polias de transmissão.



Figura 19. Motor WEG W22 10 cv

Fonte: site WEG

4.5 MANCAIS E ROLAMENTOS

Mancais são elementos de máquinas que servem de suporte e transmissão de movimento para eixos rotativos. Esses itens têm dois tipos de modelos macro: rolamento e deslizamento.

Os mancais de rolamento apresentam uma maior independência de atrito e lubrificação quando comparado aos de deslizamento. Por essa razão, esses mancais se fazem mais condizentes com o projeto quando são consideradas eficiência e manutenção dentro de um ambiente agressivo de areia e vento.

O projeto prevê esforços axiais e radiais nas ordens de $F_{ax} = 3,4 \text{ kN}$ e $F_{rad} = 60 \text{ kN}$ (o primeiro referente ao peso da polia e o segundo referente à tração no cabo), respectivamente, para um conjunto de eixo, mancal e motor posicionados na vertical. Dessa forma, cabe escolher um mancal, que suporte ambos os tipos de carga, para atender as necessidades do sistema.

O posicionamento do mecanismo na vertical exige certo cuidado com as considerações das cargas axiais. Por padrão de projeto, há de se considerar a utilização de rolamento de rolo cônico quando a razão entre as cargas axiais e radiais superam uma porcentagem de 5%. Como o eixo está sujeito à razão $\frac{F_{ax}}{F_{rad}} = 5,67 \%$, o projeto deve considerar a utilização desse modelo de elemento de máquina.

A marca SKF conta com um extenso catálogo de unidades de rolamentos flangeados e um simulador que indica o produto a ser selecionado a partir do “input” das cargas radiais e axiais. Esta ferramenta determinou o rolamento série Y UC 316 e, por consequência, seu respectivo mancal flangeado UCF 316. O mancal selecionado é do tipo de rolamento cilíndrico, contrapondo padrões empíricos de seleção adotados em projetos que obedecem a razão das cargas axiais e radiais anteriormente comentadas. Optou-se por dar maior relevância ao software de seleção de mancais fornecido pela SKF do que tentar selecionar um rolamento cônico não indicado pela marca.

Quadro 15. Visão geral mancal e rolamento

Dimensões		Desempenho	
Distância central entre os furos de parafuso	196 mm	Classificação de carga dinâmica básica	124 kN
Diâmetro do eixo	80 mm	Classificação de carga estática básica	86.5 kN
Largura do rolamento, total	86 mm	Note	Limiting speed with shaft tolerance h6
Largura geral da caixa de mancal	68.5 mm	Velocidade-limite	2 150 r/min
Largura, total	90 mm		

Fonte: site SKF

O Quadro 16 apresenta as dimensões gerais do mancal que dão sequência à modelagem do eixo transmissor de rotação. O eixo pode ser liso ou escalonado: o primeiro é uma solução mais econômica, com larga disponibilidade comercial, que pode ser utilizado em qualquer tipo de mancal; já o segundo, por sua vez, é uma solução de eixo usinado que permite maior precisão na fixação e melhor capacidade de transporte de cargas axiais. Utilizar-se-á de eixos escalonados uma vez que colaboram para a administração das cargas axiais em que o rolamento selecionado pela SKF não é cônico.

4.6 EIXO DE TRANSMISSÃO

Eixos são elementos rotativos que transmitem potência ou movimento, geralmente por meio de chavetas, pinos e estrias. Devem ser projetados com cuidados quanto às disposições geométricas, resistências mecânicas e fadiga.

Neste projeto, o eixo é suportado por um mancal flangeado na base e pelo eixo de transmissão do motor. O primeiro sustenta esforços radiais e axiais; já o segundo, apenas radiais.

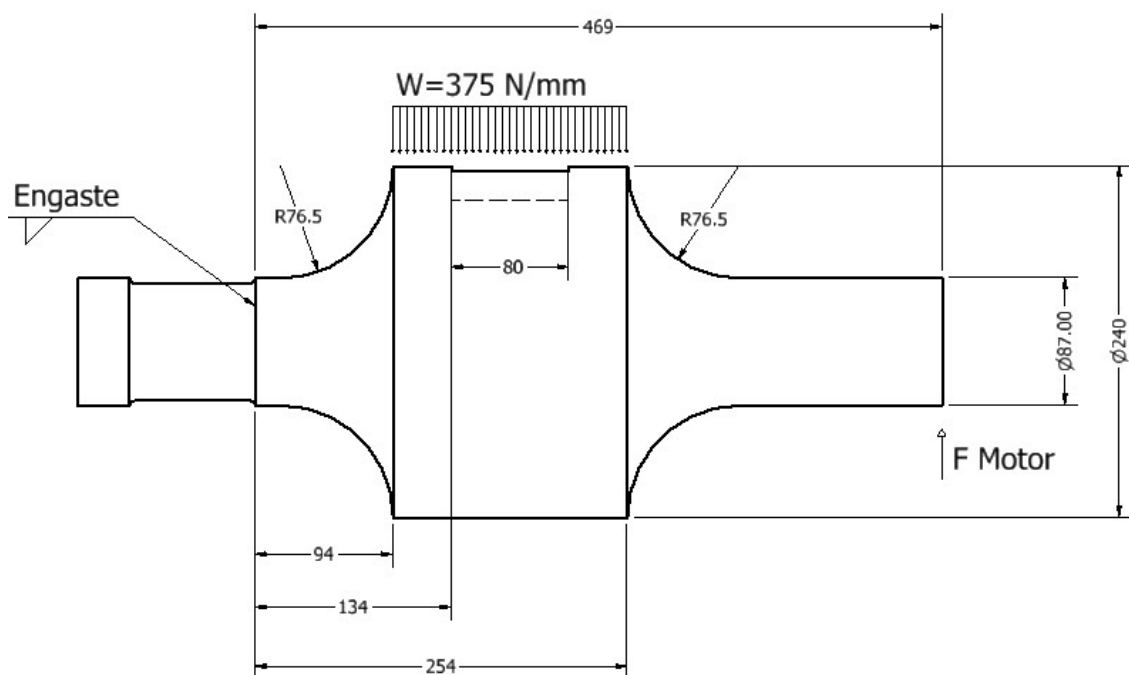


Figura 20. Diagrama de corpo livre do eixo

A partir do diagrama de corpo livre do eixo foi desenvolvido o cálculo de tensões do eixo rotativo. O anexo C possui o desenvolvimento com uso do Octave. Vale deixar claro que, embora esteja sendo considerado um apoio engastado, a liberdade de rotação não interfere nos cálculos do anexo.

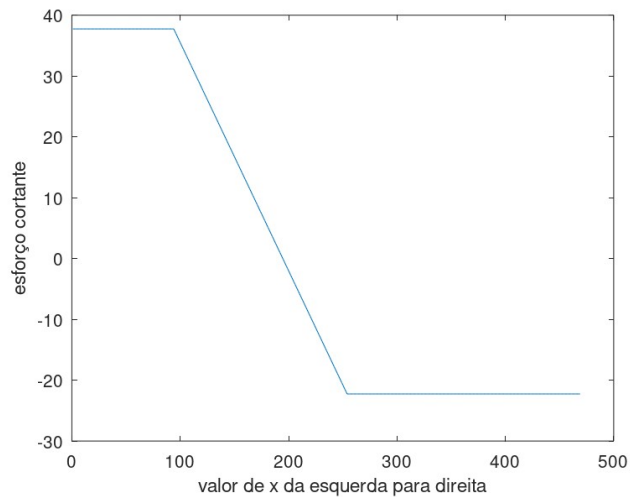


Figura 21. Diagrama de esforço cortante

As cargas consideradas no diagrama de corpo livre resultaram no gráfico de esforço cortante acima, que assumiu um valor modular máximo de **37,74 kN**. Por consequência, é possível desenvolver as equações de momento fletor a partir da integral do esforço cortante: “ $M = -\int_x^b V dx$ ”. O módulo máximo do momento fletor é de **5446,6 N.m** na posição de valor x igual a 195 milímetros.

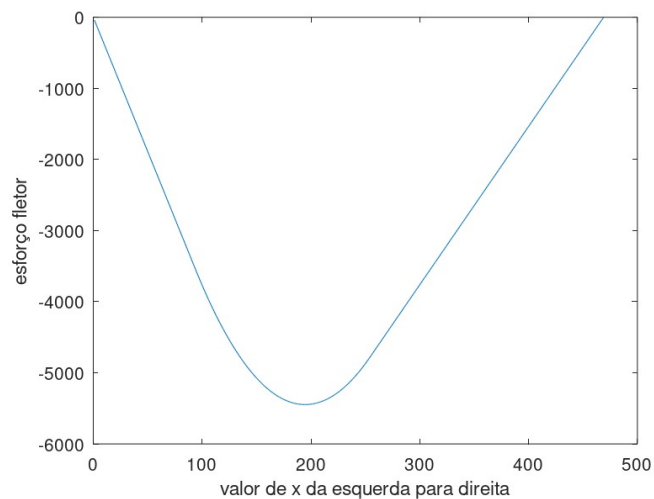


Figura 22. Momento fletor

É possível encontrar as tensões normais oriundas da flexão do eixo por meio da fórmula $\sigma = \frac{M \cdot c}{I}$, em que M é o momento fletor na seção, c é a distância perpendicular do eixo neutro ao ponto mais afastado da seção e I o momento de inércia de área da seção. Dessa forma, foi gerado um gráfico de tensões normais que obteve um valor máximo de tensão, sem concentração, de 108,64 MPa.

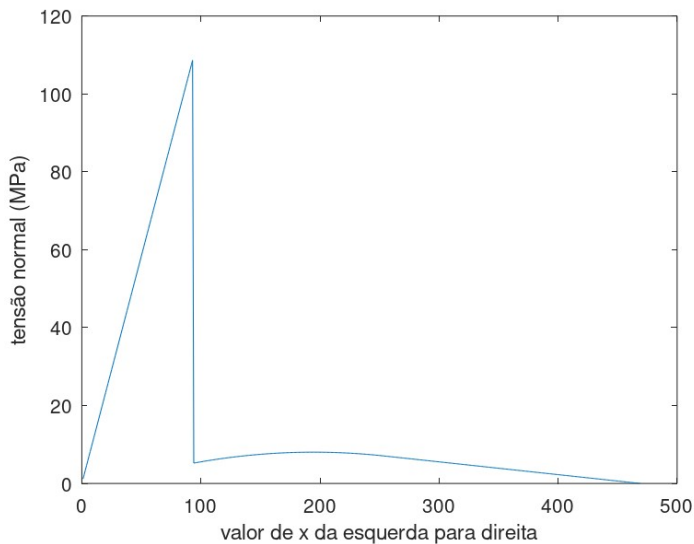


Figura 23. Tensão de flexão

Há de se considerar um fator de concentração de tensão na transição de diâmetro no eixo com razão $\frac{D}{d} = \frac{240 \text{ mm}}{87 \text{ mm}} \cong 3$. Conforme a figura 24, para razões de entalhe $\frac{r}{d} > 0,3$, os valores convergem para $K_t \cong 1,3$.

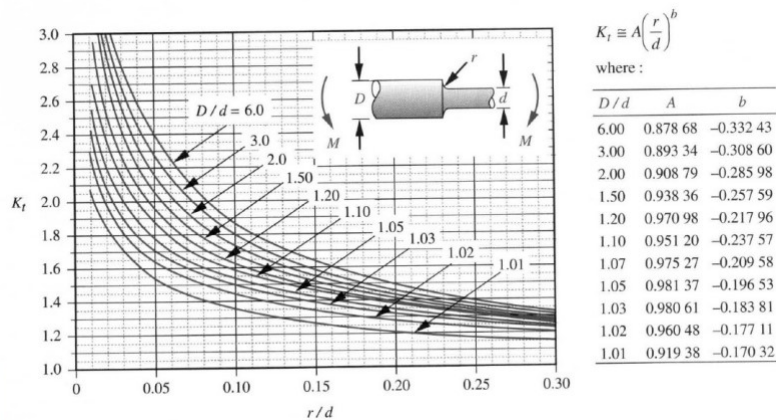


Figura 24. Fator concentrador de tensão

Fonte: material de disciplina elementos de máquinas da UNIVASF

A partir das considerações do fator concentrador de tensão, determinam-se os dados apresentados na Figura 25 e um valor máximo de tensão equivalente a **141,23 MPa**.

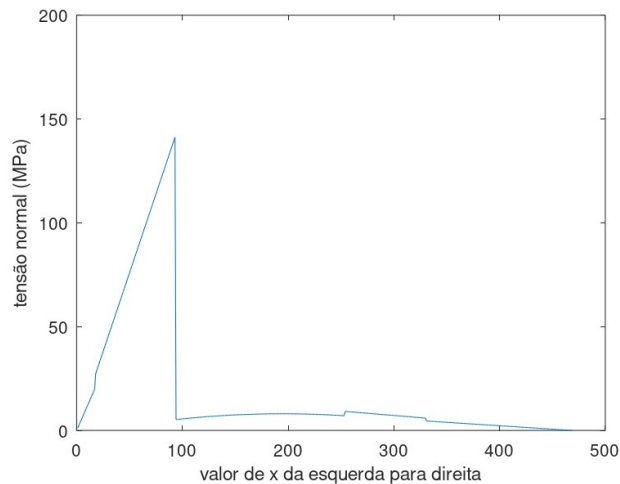


Figura 25. Tensão de flexão com concentração de tensão

Além das tensões de flexão, cabe analisar as tensões provocadas pelo torque do motor selecionado no projeto. O conjugado máximo em que o eixo pode ser submetido é de **155,6 N.m**, que pode ser considerado máximo nas secções de menor diâmetro. Nesse sentido, são dimensionadas tensões de cisalhamento flutuantes variando de **0 MPa a 26,17 MPa**.

4.6.1 Estudo de fadiga do eixo

Em geral, eixos necessitam de estudos de fadiga pois cada ponto fora da linha neutra sofre tensões alternadas. Para uma melhor visualização, cabe imaginar que um ponto no diâmetro mais externo do eixo que esteja no topo, após uma rotação de 180°, estará numa posição de vale. Nesse sentido, existem variações de tração e compressão em cada região do componente.

Diversos métodos de cálculos de fadiga surgiram ao decorrer dos estudos de engenharia como os critérios de falha: Soderberg, Goodman, Gerber, ASME-elíptica e Langer escoamento. Todas as linhas de falha dos métodos estão esboçadas na Figura 25.



Figura 26. Linhas de fadiga

Fonte: departamento de engenharia mecânica UFPR

Atentando-se ao conteúdo do gráfico da Figura 26, percebe-se que se define uma linha de carregamento a partir da relação entre tensões médias e alternadas. Além disso, o ponto que define o estado de tensões de fadiga do material deve estar abaixo de cada linha de determinado método para que este seja atendido.

Dentre os critérios de falha comentados, foi escolhido o método de Goodman modificado (equação 5), pois é caracterizado como um método conservativo e de fácil equacionamento.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (5)$$

A tensão alternada limite de fadiga S_e é relacionada ao limite de ruptura S_{ut} do material que compõe o eixo. Essa tensão é determinada por diversos fatores modificadores como: condições de superfície, tamanho, carga, temperatura, confiabilidade, concentração de tensão e sensibilidade ao entalhe.

No que diz respeito ao material de eixos, geralmente são utilizados aços de médio carbono como o SAE 4340, que possuem limites de ruptura equivalentes a $S_{ut} = 965 \text{ MPa}$. Após essa definição de material, cabe calcular o limite de resistência à fadiga considerando os fatores de superfície e temperatura.

Para aços com $S_{ut} < 1400 \text{ MPa}$, deve ser considerada uma tensão reduzida à metade, isto é, $S_e = 0,5S_{ut}$. Essa redução deve ser combinada aos fatores comentados no parágrafo acima por meio das fórmulas.

a) Fator de superfície: superfície de Marin

$$K_a = a S_{ut}^b \quad (6)$$

Quadro 16. Fator de superfície de Marin

	Fator a	Expoente b
Acabamento superficial		
Retificado	1,58	-0,085
Usinado	4,51	-0,265
Laminado a quente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

b) Fator de temperatura

Quadro 17. Fator de temperatura

Temperatura, °C	K_d
20	1
50	1,01
100	1,02
150	1,025

O eixo do projeto passa por um processo de usinagem e trabalha à temperatura de praia, que pode chegar a 50 °C. Dessa forma, o limite de tensão de fadiga em questão é equivalente à seguinte expressão (equação 7).

$$K_a K_d 0,5S_{ut} = 0,723 * 1,01 * 0,5 * 965 = 352 \text{ MPa} \quad (7)$$

Aplicando a tensão limite de fadiga à fórmula de Goodman modificada, em que as tensões médias e alternadas são equivalentes a 0 e **141,23 MPa**, é possível encontrar uma fator de segurança de fadiga de 2,49.

É importante avaliar a situação de fadiga do eixo durante a partida do sistema, quando também há o cisalhamento provocado pelo torque do motor. Nesse sentido, as tensões médias e alternadas são reajustadas pelo método de energia de distorção de Von-Mises e estimadas em 13,05 MPa e 148,33 MPa, respectivamente. Por fim, define-se um fator de segurança à fadiga, utilizando da equação 5 um valor de 2,28.

4.7 DIMENSIONAMENTO DA CHAVETA

As chavetas geralmente são peças de aço maciças que impedem o movimento relativo entre dois componentes mecânicos. A NBR 6375 e 6441 fornecem as dimensões de largura e profundidade dos rasgos tanto do eixo quanto do cubo.

É interessante observar no quadro fornecida pela NBR 6375 que as dimensões dos rasgos aumentam de forma diretamente proporcional ao diâmetro do eixo. Isto é, quanto mais robusto for o eixo, maiores são os rasgos de chaveta. A Figura 27 esboça a relação entre as chavetas e os componentes com que ela interage.

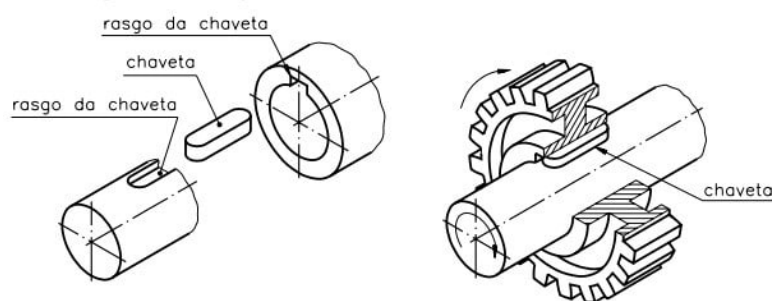


Figura 27. Representação de chaveta, eixo e cubo

Fonte: site Abecom.com

Para este projeto foi considerada uma chaveta paralela e retangular para o eixo de diâmetro de 240 milímetros demonstrado na Figura 27. Dessa forma, enquadra-se na faixa de valores $230 < D < 260$ determinado pela NBR 6375, que determina a seção transversal de acordo com o Quadro 19.

Quadro 18. Dimensões NBR 6375

	Largura (mm)	Profundidade (mm)	Folga
Chaveta	50	28	
Rasgo do eixo	+0,062	17	H9
Rasgo do cubo	+0,18	11,4	D10

4.8 DIMENSIONAMENTO DAS TORRES

As torres são responsáveis por sustentar as forças e torques provocados pelo conjunto de propulsão do surfista (cabo, polia, eixo e motor). Por isso, deve possuir um estudo cuidadoso sobre o dimensionamento de seus componentes.

A composição das torres foi idealizada a partir dos seguintes elementos: base de fixação, base do mancal, corpo, chumbadores, parafusos, nervuras e soldas. Mais adiante, os componentes tiveram suas dimensões calculadas a partir de considerações sobre tensões de projeto, escala e efeitos corrosivos.

Para o início do desenvolvimento dos cálculos foram pesquisados materiais que possuíssem resistência à corrosão, circulação de mercado, resistência a médias tensões e bom comportamento sobre variações de temperatura e umidade. Encontrou-se, dessa forma, o aço galvanizado ASTM A333, que possui as seguintes propriedades determinadas no Quadro 20.

Quadro 19. Propriedades aço ASTM A333

Comportamento	<i>Isotrópico</i>
Módulo de Young	<i>200 GPa</i>
Coeficiente de Poisson	0,27
Módulo de Cisalhamento	<i>75,8 GPa</i>
Massa Específica	<i>7,89 g/cm³</i>
Limite de Escoamento	<i>240 MPa</i>
Limite de Ruptura	<i>415 MPa</i>

Fonte: revista científica integrada UNAERP

4.8.1 Corpo das torres

O corpo foi o elemento de primeiro estudo. Foram visualizados 4 fatores primordiais para o dimensionamento da altura e, por consequência, espessura deste componente: deflexão do corpo, processos de fabricação, escala de projeto e liberdade de deslocamento vertical do surfista.

- a) Deflexão do corpo: a deflexão e, conseqüentemente, tensões e espessuras são diretamente proporcionais à altura do corpo. Por essa razão, é interessante reduzir as dimensões com o intuito de mitigar os esforços internos da estrutura.
- b) Processos de fabricação: são fabricados, por padrão de produção, tubos de aço sem costura em comprimentos de seis metros. Dessa forma, foi interessante adotar valores próximos com o intuito de baratear o projeto e dispor de diversos possíveis fornecedores e espessuras.
- c) Escala de projeto: uma vez determinado um percurso de oitenta metros, é interessante ficar atento à proporcionalidade da estrutura perante o comprimento total do sistema.
- d) Liberdade de deslocamento vertical do surfista: há nesse tópico um limitador de altura. Quanto mais baixo estiver a linha do cabo de aço, menor a liberdade do usuário efetuar deslocamentos e saltos verticais.

Em resumo, chegou-se à conclusão de que um corpo de 6 metros de altura é ideal para o projeto, sendo os dois primeiros fatores mais relevantes para tal decisão. Dessa forma, coube calcular as deflexões, tensões e espessura do tubo utilizado tendo como base o diagrama de viga em balanço.

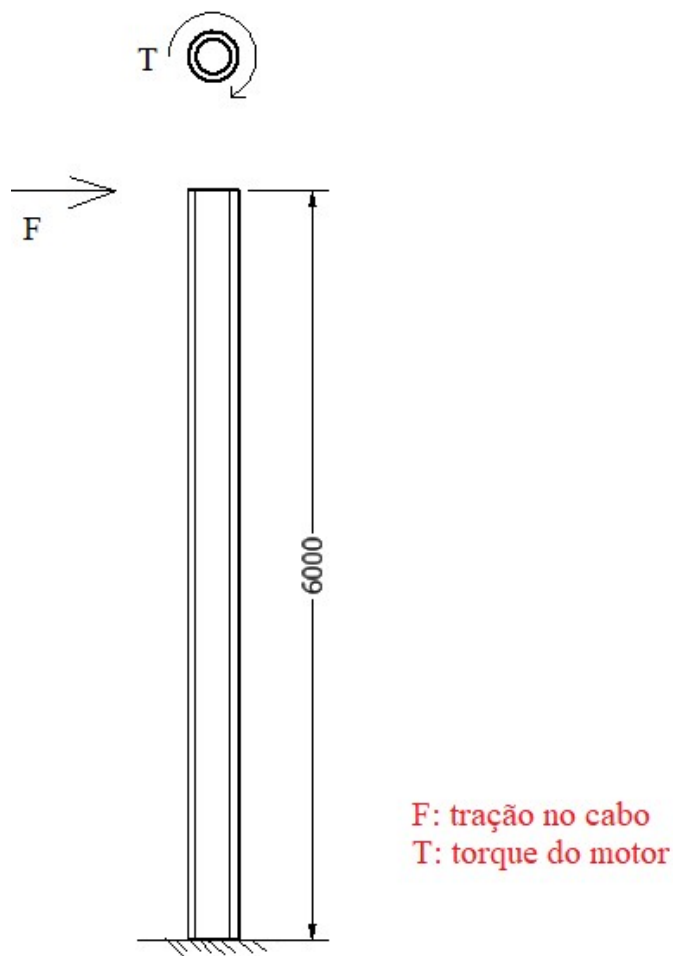


Figura 28. Viga em balanço

As forças “ $F= 61344 \text{ N}$ ” e “ $T=155,9 \text{ N.m}$ ” representadas na viga em balanço são a simplificação dos esforços externos à estrutura da torre, em que “ F ” é a combinação dos vetores lineares e “ T ” dos angulares.

O vetor linear resultante é a soma das forças provocadas pelo cabo de aço e vento (Anexo D) sobre a estrutura. O primeiro é, de fato, uma carga pontual que atua sobre sistema, enquanto a segunda é a simplificação de um esforço distribuído em uma carga pontual na mesma direção e sentido da tração do cabo de aço (combinação de estado crítico). O vetor angular é simplesmente o conjugado máximo que o motor selecionado para o projeto pode alcançar.

O anexo D possui o código que relaciona a espessura do corpo da torre com as tensões e deflexões máximas a partir da variação exclusiva do raio interno. Dessa forma, foram obtidos resultados apresentados nas Figuras 29 e 230, além dos valores especificados no Quadro 21.

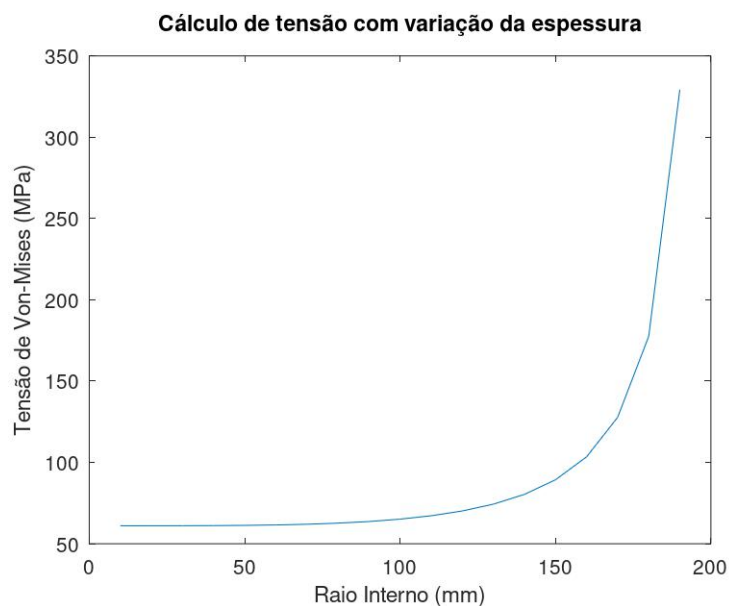


Figura 29. Tensão em função do raio interno

É possível visualizar, na Figura 29, que as tensões começam a aumentar a partir de raios internos iguais ou superiores a cento e cinquenta milímetros. Dessa forma, é interessante trabalhar com valores na faixa em que não há a explosão desta função.

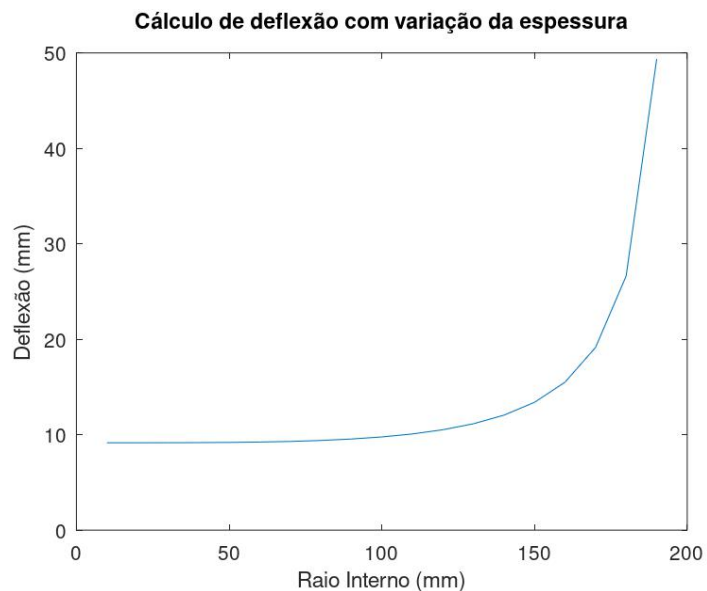


Figura 30. Deflexão em função do raio interno

Em consonância com o comportamento das tensões, a deflexão do corpo também apresenta um grande aumento dentro da faixa de valores superiores a cento e

cinquenta milímetros de raio interno. Por essa razão, cabe avaliar os valores em função da espessura com o auxílio do Quadro 21.

Quadro 20. Tensões e deflexões em função da espessura do corpo da torre

Espessura de parede do corpo da torre (mm)	Tensão Von-Mises (MPa)	Deflexão (mm)
60	80,35	12
50	89,32	13,4
40	103,42	15,5
30	127,75	19,2
20	177,56	26,6

Finalizando o estudo de tensões no corpo da torre, foram selecionadas as medidas de comprimento de 6 metros, diâmetro externo de 400 milímetros e espessura de parede de parede de 30 milímetros. Esses parâmetros resultaram num fator de segurança desse componente no valor de 1,88.

A empresa Fluidcontrols do Brasil possui em seu catálogo tubos que correspondem ao diâmetro e espessura determinados nesse projeto. A Tabela de produtos pode ser conferida no anexo E.

4.8.2 Base de fixação

A base de fixação é responsável por suportar e transferir todos os esforços do sistema para a fundação. A Figura 31 apresenta a distribuição radial dos furos em que os chumbadores aparafusados estão dispostos.

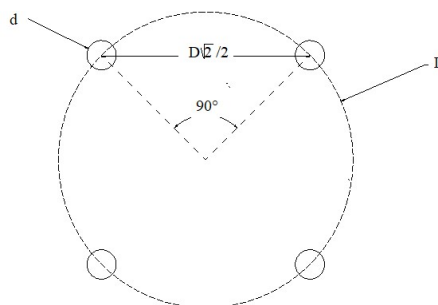


Figura 31. Distribuição radial dos furos da base

A base recebe o carregamento que vem do topo da torre, além da torção do motor transferido por meio do corpo da torre. A combinação das forças de cisalhamento está ilustrada na Figura 32.

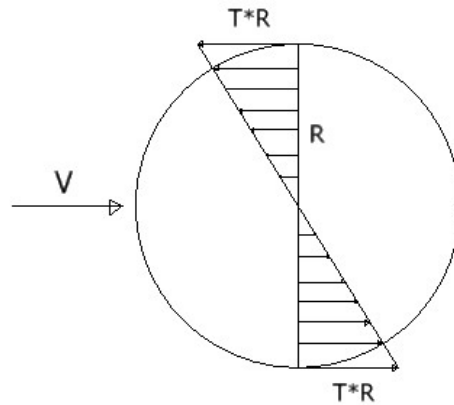


Figura 32. Vetores de cisalhamento na base de fixação

Além das tensões de cisalhamento, é de maior relevância calcular as tensões de flexão provocadas pela deflexão do corpo da torre (modelo da viga em balanço). Por tratar-se de condições de contorno e geometrias mais complexas, optou-se por utilizar o recurso de elementos finitos do Inventor para dar sequência aos cálculos. A Figura 33 esboça os resultados de tensões pelo método de Von-Mises, o refinamento dos elementos finitos ao longo da base de fixação e as condições de contorno consideradas na simulação.

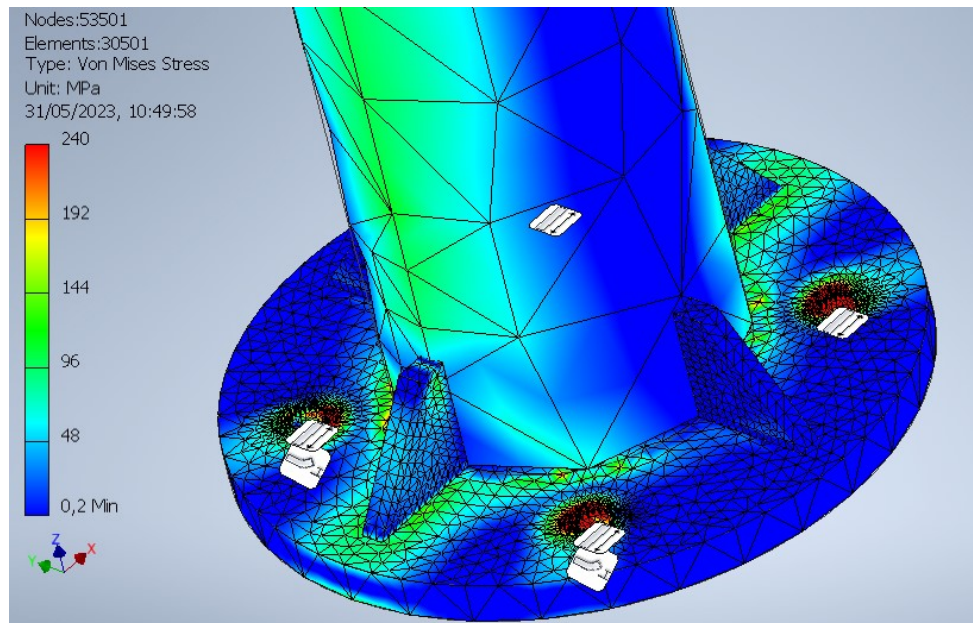


Figura 33. Simulação de tensões base de fixação

- a) Condições de contorno: foram adicionadas restrições sobre o movimento de translação no plano XY, nas faces internas dos furos, e sobre as bordas inferiores dos furos que entram em compressão com o concreto. As bordas são uma simplificação devido à limitação do recurso de simulação do inventor, uma vez que as tensões de fronteira são suavizadas pela distribuição dos esforços na área de contato entre porcas e arruelas.
- b) Refinamento: foram adotados tamanhos menores de elementos ao redor dos furos da base e na região das nervuras. Essa medida de refino facilita a localização de regiões com maior concentração de tensão.
- c) Tensão de Von-Mises: O resultado de tensões foi limitado de 0 MPa até 240 MPa, faixa em que não existe a falha do material ASTM A333. De acordo com o esperado devido à simplificação adotada nas condições de contorno, visualizaram-se falhas apenas nas regiões de borda dos furos. Essas falhas não são reais, uma vez que nessas fronteiras não existem concentrações de tensão, mas sim forças distribuídas sobre a superfície de contato entre as porcas de fixação e a base.

Num segundo momento, utilizou-se da simulação numérica para dimensionar as roscas, porcas e furos que representam a interação da base de fixação com os chumbadores. A principal ideia adotada foi de um processo inverso de aplicação de força nos furos que terão o chumbador tracionado. Buscou-se uma relação de forças de

tração em parafusos Ciser, representada no quadro 22, em função dos diâmetros nominais e grau de resistência que foram aplicadas até que se houvesse um deslocamento contraintuitivo ao sentido físico natural de uma falha por tração no chumbador.

Quadro 21. Cargas de prova para parafusos série polegada rosca grossa - UNC

Rosca	Seção resistente nominal mm ²	Grau de resistência			
		Carga de prova N			
		Grau 1	Grau 2	Grau 5	Grau 8
1/4 - 20	20,5	4 750	7 800	12 050	16 950
5/16 - 18	33,8	7 800	13 000	19 850	28 050
3/8 - 16	50	11 500	19 000	29 400	41 400
7/16 - 14	68,6	15 800	26 100	40 300	57 000
1/2 - 13	91,5	21 100	34 800	53 900	75 700
9/16 - 12	117	27 000	44 500	69 000	97 100
5/8 - 11	146	33 600	55 200	85 500	120 600
3/4 - 10	215	49 000	81 900	126 400	178 500
7/8 - 9	298	67 700	67 700	174 900	246 600
1 - 8	391	89 000	89 000	229 200	323 500
1.1/8 - 7	492	112 200	112 200	251 500	407 600
1.1/4 - 7	625	142 400	142 400	319 100	517 500
1.3/8 - 6	745	169 600	169 600	380 500	616 800
1.1/2 - 6	906	206 400	206 400	462 800	750 300

Fonte: informações técnicas Ciser

Quando testado o valor de carga de prova para rosca de 1 ½" – 6 polegadas UNC de grau 8, foi obtido o movimento contraintuitivo comentado anteriormente. Dessa forma, um chumbador com roscas e diâmetros nesse calibre são suficientes para suportar os esforços do projeto. A Figura 34 indica o sentido intuitivo com a seta preta e esboça o resultado de deslocamento contraintuitivo quando aplicada uma força contrária à tração da carga de prova de 750300 N.

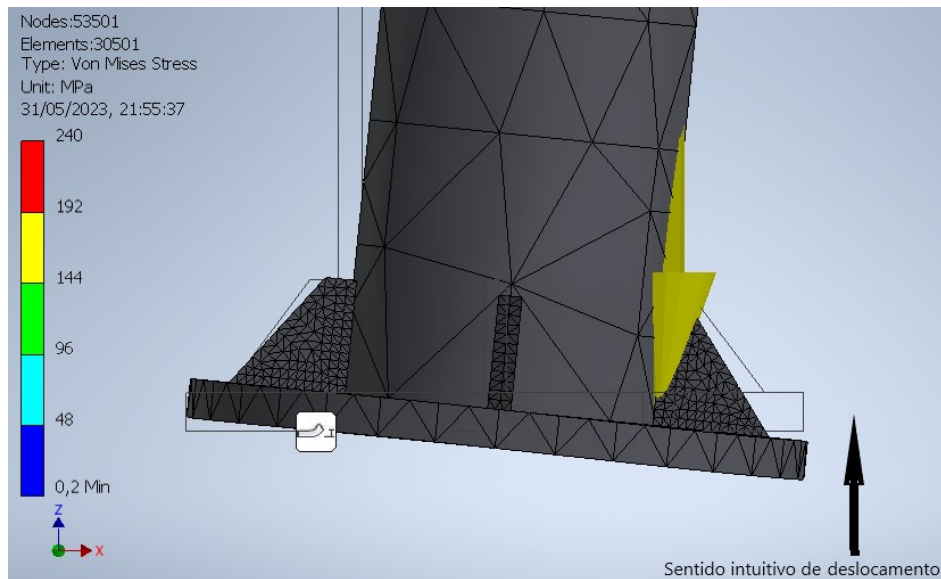


Figura 34. Deslocamento contraintuitivo ao aplicar carga de prova

4.8.3 Chumbadores

Os chumbadores aparafusados são utilizados como soluções para fixação de estruturas em fundações, geralmente de concreto. O desenvolvimento e dimensionamento desse componente foge do escopo deste projeto, sendo apenas ilustrada uma ideia de seu funcionamento e determinada a carga de tração a que deve resistir.

Os chumbadores são elementos de fixação que suportam grandes cargas. O tipo mais comum para a fundação de postes metálicos são os de tipo J. A Figura 35 ilustra a aplicação desses chumbadores.

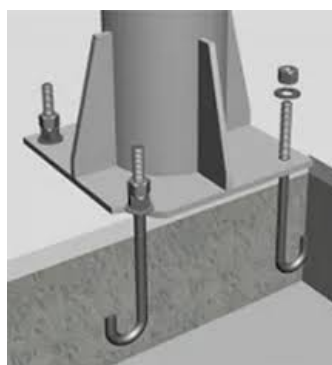


Figura 35. Chumbadores tipo J

Fonte: AEC Web

Em resumo, esses chumbadores são posicionados a partir de um molde com as mesmas dimensões do poste projetado. Após posicionados, sua base é coberta por concreto, ficando assim fixado ao solo após a secagem. Os modelos de ensaios de tração e requisitos de avaliação desses componentes podem ser encontrados nas normas técnicas NBR 10091 e 14827.

A Ciser possui um catálogo de informações técnicas que definem a carga de prova para cada diâmetro nominal de parafuso em função do grau de resistência. A Quadro 22 foi extraída do material técnico da Ciser. Dois parafusos de rosca 1 ½' de grau 8 geram um fator de segurança de 1,71. Dessa forma, é possível adotar furos de 40 mm na base de fixação com certa folga para passagem da rosca do chumbador.

4.8.4 Parafusos do mancal

O mancal selecionado já possui, por projeto, um diâmetro de 31 milímetros. Nesse sentido, o parafuso estrutural sextavado rosca parcial 1-1/4" 7-unc x 3", encontrado na loja megalojista que possui as seguintes informações técnicas da mesma norma ASME 18.2.6, seriam funcionais.

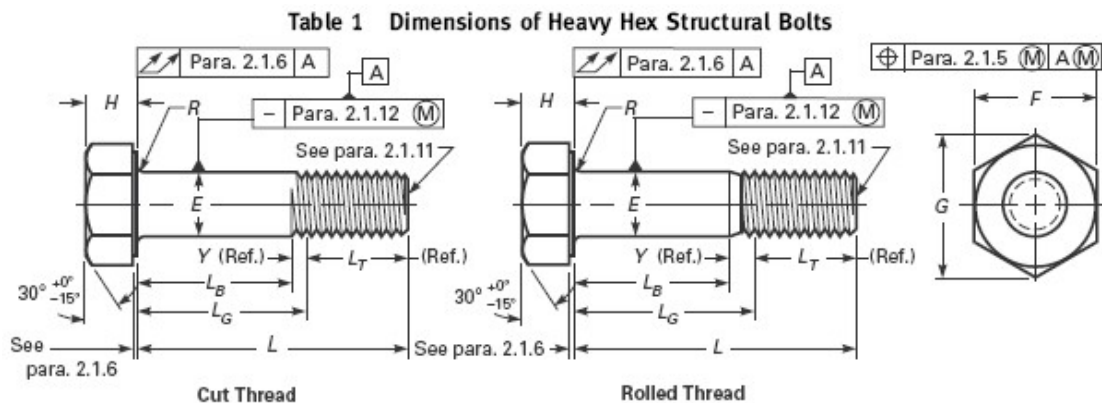


Figura 36. Cotas determinadas pela ASME 18.2.6

A loja megalojista possui o parafuso estrutural sextavado rosca parcial 1-1/4" 7-unc x 3" e parafuso sextavado rosca inteira 3/4" 10-unc x 3-1/2" que têm as seguintes informações técnicas.

Quadro 22. Informações técnicas do parafuso base do mancal

Comprimento Útil de Rosca	50.80 mm	Diâmetro	1-1/4"
Classificação Material	ASTM A325	Dureza HRC / HRB	19 - 34 HRC
Passo/Fios	7-UNC	Torque para Parafusos (N.m)	1455 N.m
Comprimento de Rosca	Rosca Parcial	Carga de prova (N)	319100 N
Acionamento	Sextavado	Seção resistente nominal (mm ²)	625 mm ²
Medida do Acionamento	Chave 2"	Resistencia a Tração (Kgf/mm ²)	84.4 Kgf/mm ²
Rosca	Grossa	Tensão escoamento mínima (Kgf/mm ²)	64.7 Kgf/mm ²
Comprimento	3" pol	Distância de passo de rosca (mm)	3.63 mm

Quadro 23. Informações técnicas do parafuso do motor

Comprimento Útil de Rosca	3-1/2" pol	Diâmetro	3/4"
Classificação Material	ASTM A325	Dureza HRC / HRB	80 HRB - 32 HRC
Passo/Fios	10-UNC	Distância de passo de rosca (mm)	2,54 mm
Comprimento de Rosca	Rosca Inteira	Comprimento	3-1/2" pol
Acionamento	Sextavado	Seção resistente nominal (mm ²)	215 mm ²
Medida do Acionamento	Chave 1-1/8"	Resistencia a Tração (Kgf/mm ²)	70 Kgf/mm ²
Rosca	Grossa	Tensão escoamento mínima (Kgf/mm ²)	45,7 Kgf/mm ²

4.8.5 Soldagens

A torre de sustentação possui pontos de soldagem de filete em todas as peças que a compõem. O cálculo dessas soldas é efetuado com base na área de garganta do material de solda, representado na Figura 36 como área efetiva A_w .

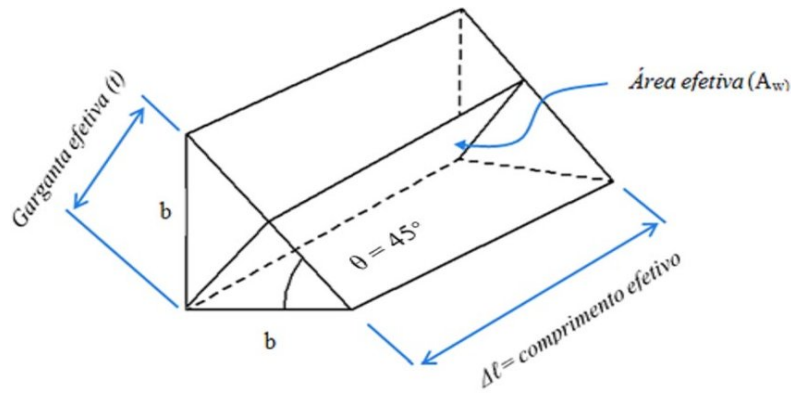


Figura 37. Área efetiva ou área de garganta

Fonte: Scielo 5 Brasil

As soldas são expostas a tensões de cisalhamento que são divididas em primárias (equação 8) e secundárias (equação 9). Aquelas relacionam forças externas à área efetiva, enquanto estas são uma força que é gerada em consequência das forças externas, como forças de torção.

$$\tau' = \frac{F}{A_w} \quad (8)$$

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \quad (9)$$

Nas fórmulas acima, as letras F, M, r e J representam as forças externas de cisalhamento, forças torcionais geradas, distância do centro geométrico da solda até o ponto de torção e o segundo momento polar de área, respectivamente. Dessa forma, cabe associar cada ponto de soldagem a uma geometria de solda.

O software Inventor fornece uma ferramenta para cálculo de tensões em solda. Nesse recurso, o usuário fornece a geometria de solda, bem como seus parâmetros dimensionais e forças aplicadas. As Figuras 38 e 39 representam as duas geometrias presentes no projeto e seleções de formas de carregamento nas soldas.

Ademais, em concordância com a 8ª edição do Elementos de Máquinas de Shigley, pôde ser selecionado os tipos de eletrodos a partir das relações de resistência mecânica do Quadro 25.

Quadro 24. Propriedades metal de solda

Número de eletrodo AWS*	Resistência a tração (MPa)	Resistência ao escoamento (MPa)
E60xx	425	345
E70xx	482	393
E80xx	551	462

4.8.5.1 Solda de geometria circular

As soldas de geometria circular são utilizadas nas interações entre: base fixação x corpo da torre, suporte do motor x corpo da torre e base do mancal x corpo da torre. Dessa forma, para fins de cálculo, são considerados eletrodos E60xx com força de cisalhamento aplicada de 61,344 N.

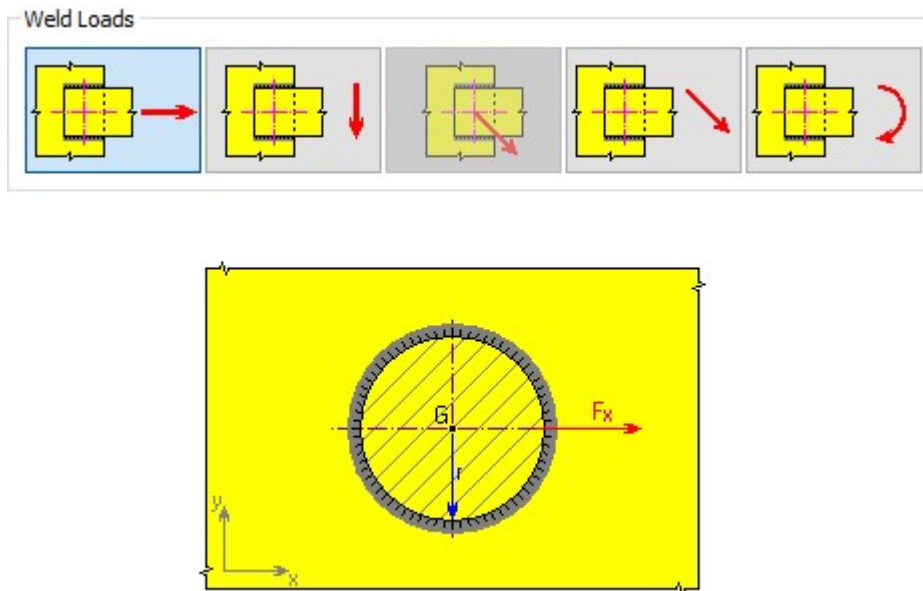


Figura 38. Geometria de solda de contorno

A Figura 38 esboça a geometria do perímetro percorrido pela solda e a direção em que a força de cisalhamento é considerada. Para uma altura de solda equivalente a 5 milímetros e perímetro circular de 200 mm de raio, foi encontrada uma tensão cisalhante equivalente a $\tau = 78 \text{ MPa}$. Analiticamente, fazendo uso das equações 8 e 9, foram encontrados valores de tensão cisalhante de 69,24 MPa. Essa diferença refere-se a uma margem de erro de 11%. Como ambos resultados estão bastante abaixo do limite

de escoamento do material, pode-se considerar um dimensionamento de solda seguro e conservativo.

4.8.5.2 Solda de geometria em U

As soldas de geometria em U são utilizadas nas interações entre: nervura x corpo da torre. Dessa forma, para fins de cálculo, são considerados eletrodos E60xx com força de cisalhamento e normal aplicadas de **61344 N**.

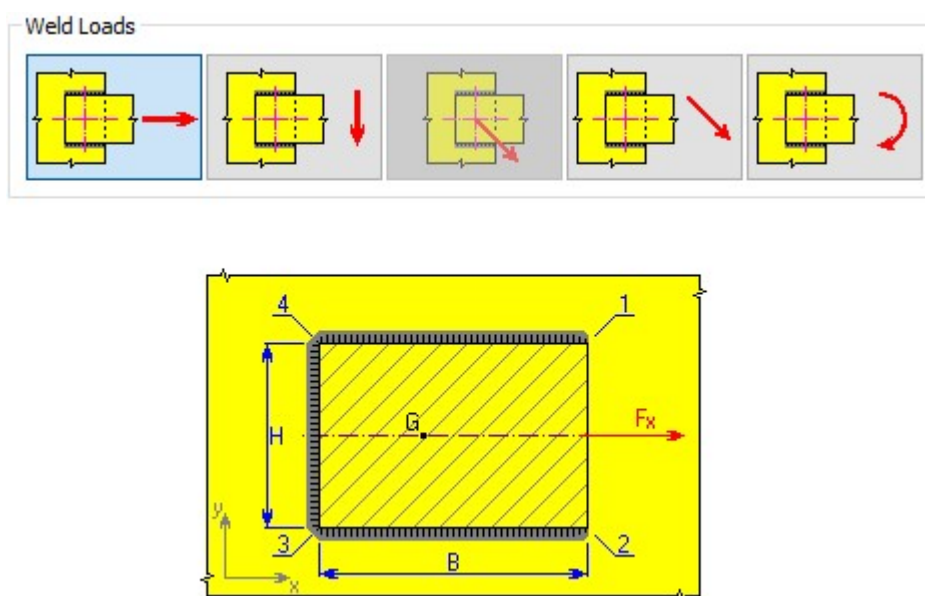


Figura 39. Geometria de solda em U cisalhamento

A Figura 39 esboça a geometria do perímetro percorrido pela solda e a direção em que a força de cisalhamento é considerada. Para uma altura de solda equivalente a 15 milímetros, altura "H" de 25 milímetros e comprimento "B" de 150 milímetros foi encontrada uma tensão cisalhante equivalente a $\tau = 78 \text{ MPa}$. Analiticamente, fazendo uso das equações 8 e 9, foram encontrados valores de tensão cisalhante de 77,34 MPa. Essa diferença refere-se a uma margem de erro de 0,8%.

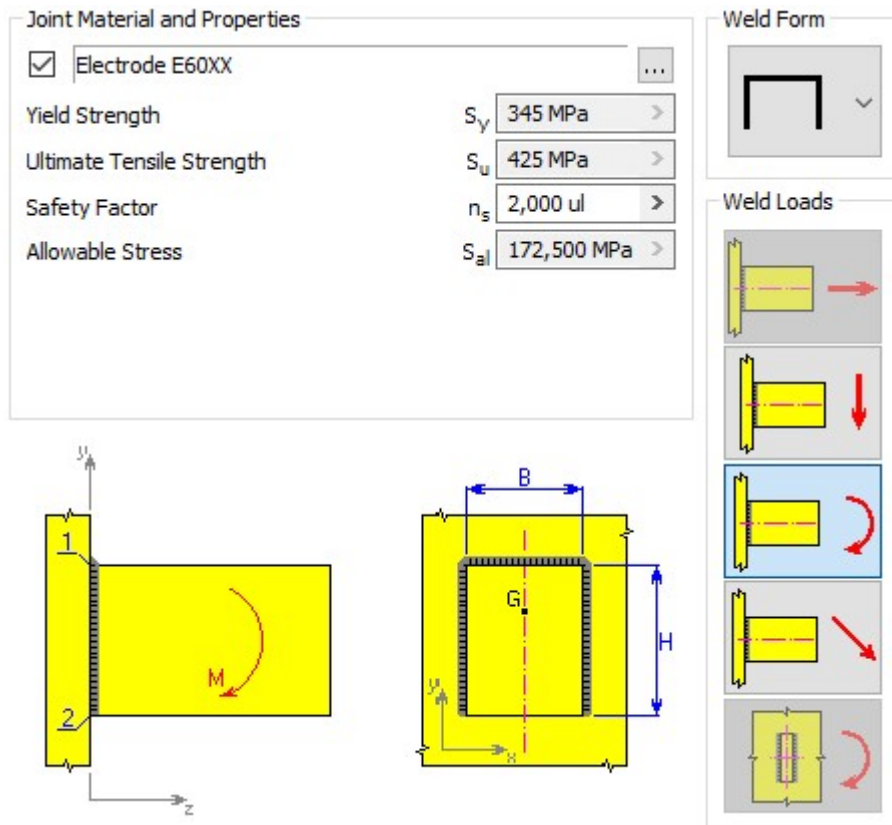


Figura 40. Geometria de solda em U normal

Para uma altura de solda equivalente “a” 15 milímetros, altura “H” de 147 milímetros e comprimento “B” de 25 milímetros foi encontrada uma tensão cisalhante equivalente a $\tau = 172,5 \text{ MPa}$.

4.9 MONTAGEM E COSIDERAÇÕES FINAIS

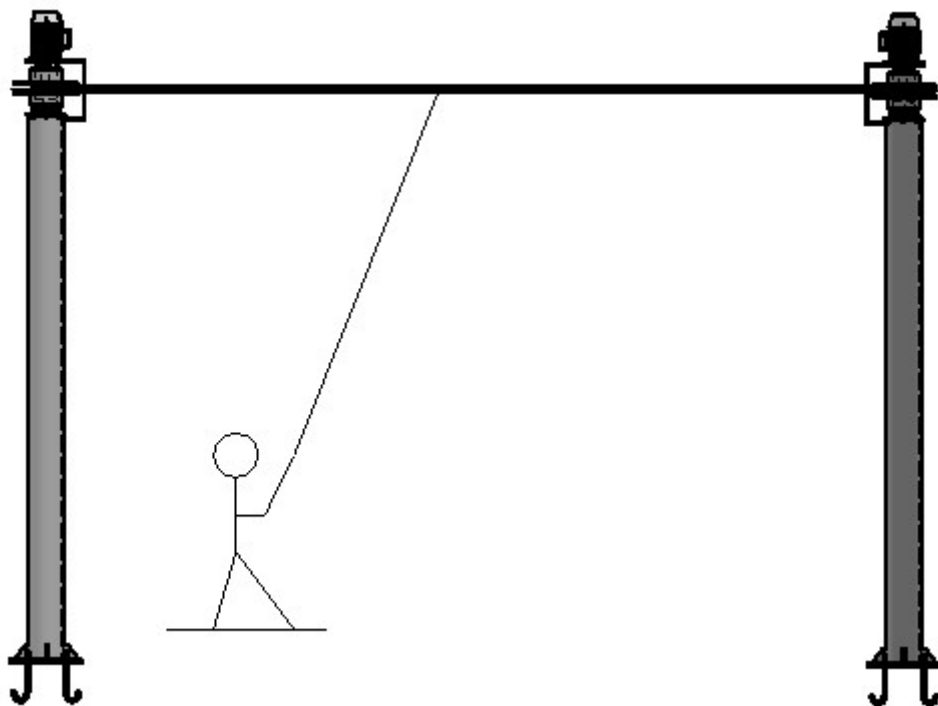


Figura 41. Configuração de funcionamento do *Cable Park*

Uma vez visualizado e montado o sistema, cabe explicar o funcionamento do sistema de *cable sandboard* de uma forma mais completa à introdução e concepção do projeto, além de apontar os gargalos e melhorias de projeto a serem feitas.

Conforme a Figura 41, o sistema possui duas torres posicionadas estaticamente à distância de 80 metros entre elas e altura total (base até o fim do motor) de 7,18 metros. O cabo de aço é o componente do projeto responsável por deslocar o surfista, que pode iniciar sua prática esportiva da base de qualquer uma das duas torres. O cabo de aço, unido pelos grampos de união, entra em rotação a partir do abraçamento e atrito com as polias de transmissão. Importante ressaltar que, no instante que os grampos interagem com as polias, existe um impacto e danificação dos componentes, o que deve ser estudado em projetos futuros.

Após iniciado o movimento do cabo de aço devido à partida dos motores de cada sistema de torre, o surfista se desloca de uma ponta a outra por meio de uma guia ou corda fixada ao cabo de aço. Esta forma de fixação há de ser desenvolvida em projetos

futuros de forma a apresentar uma geometria favorável à interação com a polia. Um sistema já existente do chamado “*Pentasi FSC*” é esboçado na figura 42.



Figura 42. Mecanismo de união cabo de aço x guia

Fonte: cable park booklet

O sistema desenvolvido não permite que o surfista percorra o trajeto de ida e volta do cabo de aço, uma vez que a torre de sustentação apresenta risco de colisão do atleta com a estrutura, pondo em risco a integridade física do usuário. Recomenda-se que o surfista libere a guia no mínimo a 8,5 metros de distância das torres, considerando a frenagem provocada pelo atrito entre a prancha, com revestimento de poliuretano, e areia. Por essa razão, cabe o desenvolvimento de um sistema de segurança à colisão entre o surfista e a estrutura da torre.

A seleção do motor não foi objeto de estudos ergonômicos no que diz respeito ao início do movimento do sistema. O conjugado de partida apresenta uma aceleração elevada que deve ser estudada para que não viole normas ergonômicas, que podem ser estudadas pela NBR 13967, por exemplo.

A fixação da torre de sustentação foi idealizada sobre uma fundação de concreto, na qual os chumbadores atuarão. O estudo de fundações deve ter sequência com base na NBR 6122.

5. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado foi um projeto de inovação baseado em normas técnicas e cálculos de engenharia. Foram feitos estudos e desenvolvimentos voltados ao dimensionamento dos componentes estruturais e de transmissão de movimento. Para que o sistema entre em atividade, são necessários projetos de continuação como os comentados em sessões anteriores. Os mais necessários são: desenvolver o componente de união entre cabo e guia, algo similar à Figura 41, e o estudo da fundação das torres.

Este projeto, agregado às continuações sugeridas no parágrafo anterior, pode ser ampliado de forma a adicionar mais unidades de torres do sistema de *cable park* com o intuito de gerar um sistema circular, conforme observado na Figura 8. Tal formato permitirá melhor dinâmica e maior fluxo de entrada de surfistas para a prática esportiva. Essa adaptação talvez gere uma geometria e esforços diferentes dos dimensionados; porém, o projeto aqui esboçado contém uma abordagem simplificada baseada em normas técnicas bem definidas.

Estão presentes no trabalho desenvolvido conceitos de resistência mecânica, fadiga, corrosão e seleção de materiais, elementos de máquinas, soldas, desenhos técnicos, simulações numéricas e computacionais e abordagem de normas técnicas para concatenar todos os conceitos aprendidos no curso de engenharia mecânica do CEFET-RJ. Seguem anexados desenhos de conjunto, desenhos técnicos, códigos e tabelas para complementação do material de texto

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SURHONE, L. M.; TENNOE, M. T.; HENSSONOW, S. F. (EDS.). **San Francisco Cable Car Museum**. [s.l.] Betascript Publishing, 2011.
2. HIBBELER, R. C.; Resistência dos materiais, 7ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
3. BUDYNAS, R.; NISBETT, J. K.; Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica, 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
4. BEER, Ferdinand P; JOHNSTON, Russel; Estática , vol. I, 3.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
5. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 8400-1
6. Corrigida, Versão. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA ICS ISBN 978-85-07- Número de Referência 83 Páginas 8400-2 Equipamentos de Elevação E Movimentação de Carga -Regras Para Projeto Parte 2: Verificação Das Estruturas Ao Escoamento, Fadiga E Estabilidade. 2022.
7. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 8400-3 Equipamentos de Elevação E Movimentação de Carga -Regras Para Projeto Parte 3: Verificação à Fadiga E Seleção de Componentes Dos Mecanismos Lifting Appliances -Rules for Design Part 3: Checking for Fatigue and Choice of Mechanism Components.
8. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 8400-4 Equipamentos de Elevação E Movimentação de Carga -Regras Para Projeto Parte 4: Equipamento Elétrico Lifting Appliances -Rules for Design Part 4: Electrical Equipment.
9. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA Equipamentos de Elevação E Movimentação de Carga -Regras Para Projeto Parte 5: Cargas Para Ensaio E Tolerâncias de Fabricação Lifting Appliances -Rules for Design Part 5: Test Loads and Manufacturing Tolerances.
10. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 2408 Equipamentos de Movimentação de Carga - Cabos de Aço -Cuidados E Manutenção, Inspeção e Descarte
11. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 6375
12. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 6441
13. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 11099
14. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 14827

15. ABNT NBR NORMA BRASILEIRA 16334
16. ASME B.18.2.6
17. Liftec. Cabos de aço, 2023. Disponível em: https://www.liftec.com.br/cabos-de-aco?gclid=Cj0KCQiAutyfBhCMARIsAMgcRJR2qoqEeSdEcOVbXAZV6GPXj0aJxmPgdPmzXEwSd9KAKeAlpo0ZXx0aAlMCEALw_wcB#group1-3
18. Tubometal. Distribuidora de aços e metais,2023. Disponível em: <https://www.tubometal.com.br/wp-content/uploads/2018/03/catalogo-tubometal3.pdf>
19. Fluidcontrols.Tabela de tubos,2023 . Disponível em: <https://fluidcontrols.com.br/wp-content/uploads/2020/11/Tabela-Tubos.pdf>
20. SKF. Rolamentos montados e caixas de mancal. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/mounted-bearings>
21. WEG. Uso geral. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/BR_MT_3PHASE_LV_GENERALPURPOSE
22. Indufix. Rosca série polegada – sistema unificado americano. Disponível em: <https://www.indufix.com.br/material-apoio-tecnico-parafusos/rosca-serie-polegada-sistema-unificado-americano/>
23. Gerdau. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. Disponível em: http://www.acaogerdau.com.br/profissionaldoaco/blog/manual_corrosao.pdf
24. UNAERP. Revista científica integrada. Disponível em: <https://www.unaerp.br/revista-cientifica-integrada/edicoes-anteriores/volume-3-edcao-2/2417-rci-analise-do-desempenho-de-uma-junta-soldada-para-tubulacoes-de-uma-plataforma-maritima/file#:~:text=2.1.2%20Propriedades%20Mec%C3%A2nicas,por%20uma%20tabela%20nesta%20norma.>
25. Falando de viagem. Disponível em: https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.falandodeviagem.com.br%2Fimagens21%2FSanFranciscoCableCar.jpg&tbnid=bNn1CsYpWnYEjM&vet=12ahUKEwjkyPKv-P_AhVINrkGHQI8CfQQMygEegUIARDTAQ..i&imgrefurl=https%3A%2F

www.falandodeviagem.com.br/viewtopic.php?t=3D4491&docid=xdTsk1CzRRc94M&w=800&h=534&q=bonde%20de%20s%C3%A3o%20francisco&ved=2ahUKEwjkyPKv-P_AhVINrkGHQi8CfQQMygEegUIARDTAQ

26. Sunset Wake Park. Disponível em: <https://www.sunsetwakepark.com/>
27. North Bound Aurich. Disponível em: <https://northboundaurich.de/>

ANEXO A. GRAMPO CABO DE AÇO

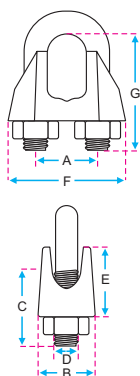
ACESSÓRIOS

A SIVA possui uma linha completa de acessórios e ferragens para cabos de aço, correntes grau-8 e cintas de poliéster, tais como: grampos, esticadores, manilhas, anéis de carga, ganchos, elos de ligação, sapatilhos, olhais de suspensão, mosquetões, entre outros.

Nossos acessórios são fabricados conforme as principais normas nacionais e internacionais e seguem um rigoroso processo de homologação e testes para as mais exigentes áreas da engenharia que necessitem de soluções para elevação, movimentação e amarração de cargas.



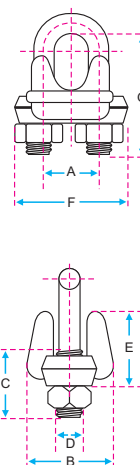
GRAMPO LEVE (DIN 741)



REF.	Ø (pol.)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	QUANT. GRAMPOS	ESPAÇAM. MÍN. (mm)	TORQUE kg/f	PESO 100 pç (kg)
GP-L-03	1/8"	9	10	12	4	10	21	16	4	16	0,20	1,4
GP-L-05	3/16"	11	11	13	5	10	23	19	4	24	0,40	1,5
GP-L-06	1/4"	13	12	15	5	11	26	23	4	32	0,60	2,1
GP-L-08	5/16"	16	14	19	6	15	30	28	5	41	0,80	4,1
GP-L-09	3/8"	19	18	22	8	17	34	34	5	48	1,40	6,8
GP-L-13	1/2"	24	23	30	10	21	42	45	6	65	3,00	13
GP-L-16	5/8"	29	26	33	12	26	50	51	6	81	5,20	21
GP-L-19	3/4"	32	29	38	12	30	54	63	7	97	5,20	28
GP-L-22	7/8"	37	33	44	14	34	61	71	8	113	8,40	40
GP-L-26	1"	41	35	45	14	37	65	81	8	129	8,40	44

Acabamento: Galvanizado • Norma de referência: DIN 741
 Informações adicionais sobre a fixação correta dos grampos vide anexo V página 26

GRAMPO PESADO



REF.	Ø (pol.)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	QUANT. GRAMPOS	ESPAÇAMENTO MÍNIMO (mm)	TORQUE kg/f	PESO UNIT. (kg)
GP-P-03	1/8"	12	20	11	7/32	10	23	18	2	19	0,50	0,02
GP-P-05	3/16"	15	23	14	1/4	12	29	24	2	29	1,00	0,44
GP-P-06	1/4"	19	30	15	5/16	16	36	26	2	38	2,00	0,08
GP-P-08	5/16"	22	33	19	3/8	18	43	35	2	48	4,00	0,14
GP-P-09	3/8"	25	41	19	7/16	23	49	38	2	57	4,00	0,19
GP-P-11	7/16"	30	46	25	1/2	26	58	47	3	67	6,00	0,32
GP-P-13	1/2"	30	48	25	1/2	28	58	47	3	76	7,50	0,34
GP-P-14	9/16"	33	52	32	9/16	31	63	57	4	86	10,00	0,45
GP-P-16	5/8"	33	52	32	9/16	34	63	60	4	95	12,00	0,45
GP-P-19	3/4"	38	57	36	5/8	35	72	70	4	114	18,00	0,68
GP-P-22	7/8"	44	62	41	3/4	40	80	79	4	133	31,00	1,09
GP-P-26	1"	47	66	46	3/4	45	88	89	5	152	31,00	1,13
GP-P-29	1.1/8"	51	71	51	3/4	48	91	98	6	172	31,00	1,31
GP-P-32	1.1/4"	59	80	54	7/8	56	105	108	6	191	45,00	1,95
GP-P-35	1.3/8"	60	80	59	7/8	59	106	118	7	210	45,00	2,09
GP-P-38	1.1/2"	66	87	60	7/8	62	113	125	7	229	45,00	2,45

Grampo pesado forjado em aço carbono 1045 • Acabamento: corpo galvanização a fogo, haste e a porca galvanização eletrolítica
 Norma de referência: Federal Specifications FF-C-450, Type 1, Class 1
 Informações adicionais sobre a fixação correta dos grampos vide anexo V página 26

ANEXO B. CÓDIGO CATÉNARIA

```
1 %Parâmetros da curva
2 p=6.009; %massa distribuida
3 x=40; %semicomprimento da catenária
4 t0=30000; %tração máxima horizontal
5 %
6 xvetor=-x:0.1:x; %vetor do comprimento do cabo
7 a=t0/p;
8 for i=1:length(xvetor)
9     y(i)=a*cosh(xvetor(i)/a);
10 end
11 figure 1
12 plot(xvetor,y)
13 xlabel('Posição da catenária na horizontal(m)')
14 ylabel('Deslocamento vertical da catenária(m)')
15 min(y)
16 max(y)
```

ANEXO C. CÓDIGO EIXO

```

1  %Parâmetros de cálculo
2  a=94;
3  b=254;
4  c=469;
5  w=0.375;
6  Kt=1.3;
7  Ra=0.0435;
8  Rb=0.12;
9  Rc=0.0435;
10 Posicao=1;
11 Fdresultante=60;
12 Fmancal=37.74;
13 Fmotor=22,26;
14 x=1:c;
15 %
16 %Esforços cortantes
17 for i=1:length(x)
18     if i<a
19         v(i)=Fmancal;
20     elseif i<b
21         v(i)=Fmancal-w*(i-94);
22     else
23         v(i)=Fmancal-Fdresultante;
24     endif
25 endfor
26 figure 1
27 plot(x,v)
28 xlabel('valor de x da esquerda para direita')
29 ylabel('esforço cortante')
30 %
31 %Esforços fletores
32 for i=1:length(x)
33     if i<a
34         m(i)=-Fmancal*i;
35     elseif i<b
36         m(i)=-Fmancal*i+(w*((i-94)^2)/2);
37     else
38         m(i)=-Fmancal*i + Fdresultante*(i-174);
39     endif
40     if m(i)<m(Posicao)
41         Posicao=i;
42     endif
43 endfor
44 figure 2
45 plot(x,m)
46 xlabel('valor de x da esquerda para direita')
47 ylabel('esforço fletor')
48 min(m)
49 Posicao
50 %
51 %Cálculo de tensões normais
52 for i=1:length(x)
53     if i<a
54         sigma(i)=(-8*m(i)/(3.14*Ra^3))/1000000;
55     else
56         sigma(i)=(-8*m(i)/(3.14*Rb^3))/1000000;
57     endif
58 endfor
59 figure 3
60 plot(x,sigma)
61 xlabel('valor de x da esquerda para direita')
62 ylabel('tensão normal (MPa)')
63 max(sigma)
64 %
65 %Cálculo da tensão normal com concentração de tensão
66 for i=1:length(x)
67     if i<(a-76.5)
68         sigma2(i)=sigma(i);
69     elseif i<a
70         sigma2(i)=Kt*sigma(i);
71     elseif i<b
72         sigma2(i)=sigma(i);
73     elseif i<(b+76.5)
74         sigma2(i)=Kt*sigma(i);
75     else
76         sigma2(i)=sigma(i);
77     endif
78 endfor
79 figure 4
80 plot(x,sigma2)
81 xlabel('valor de x da esquerda para direita')
82 ylabel('tensão normal (MPa)')
83 max(sigma2)
84 %

```

ANEXO D. CÓDIGO CORPO DA TORRE

```

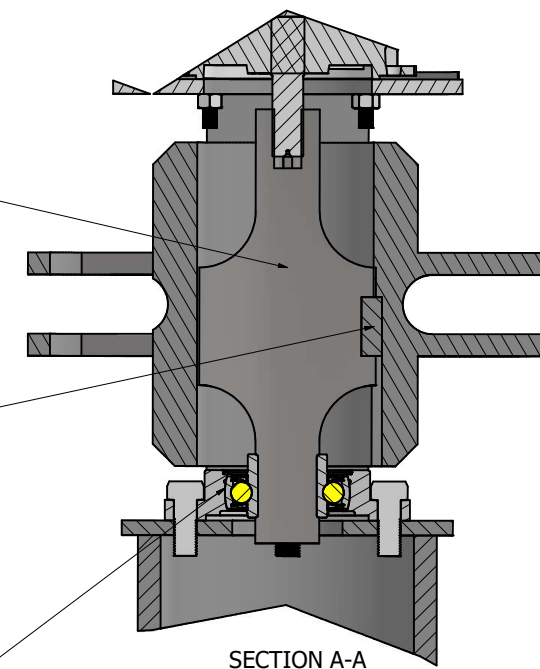
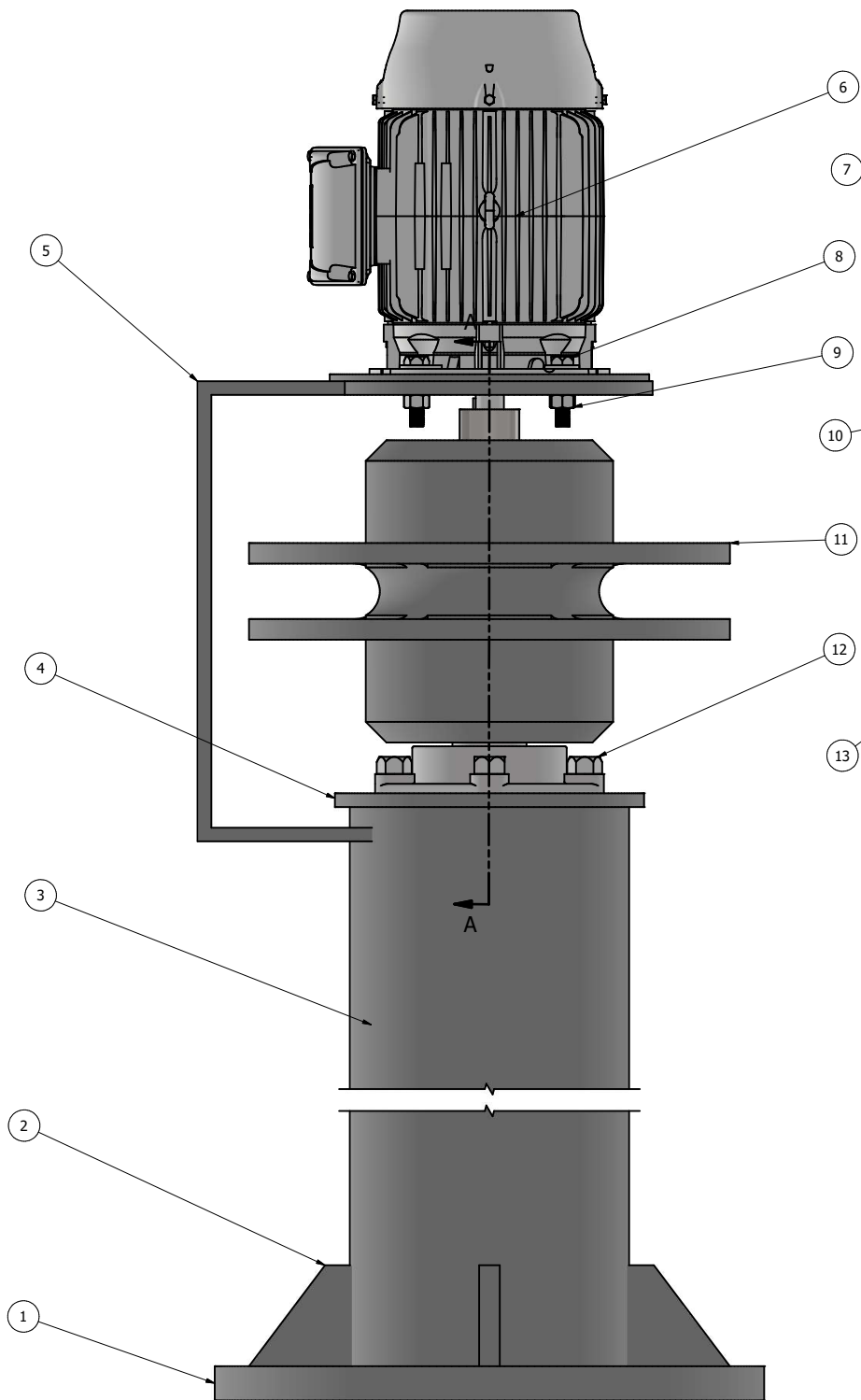
1 %Equacionamento do corpo da torre
2 %
3 %Parâmetros
4 Cabo=60000; %tração cabo de aço
5 Vento=1344; %Carga pontual do vento - simplificação
6 Motor=155.9; %Conjugado máximo do motor
7 h=6; %Altura do corpo
8 d=0:0.1:h; %Passo de iteração
9 Rext=0.2; %Raio externo
10 Rint=0.01:0.01:.199; %Raio interno
11 E=200000000000; %Módulo de Young
12 %
13 for j=1:length(Rint)
14 I(j)=3.14*(Rext^4 - Rint(j)^4)/4; %Momento de inércia de área
15 A(j)=3.14*(Rext^2 - Rint(j)^2); %Área da seção transversal
16 %Cálculo dos momentos fletores ao longo do corpo
17 for i=1:length(d)
18 M(i)=(Cabo+Vento)*d(i);
19 endfor
20 %Cálculo das tensões máximas de cisalhamento e normal
21 Tensaonormal(j)=max(M)*Rext/I(j);
22 Tensaocis(j)=Motor*Rext/I(j) + (Cabo+Vento)/A(j);
23 %
24 %Critério de falha de Von-Mises
25 vonmises(j)=(Tensaonormal(j)^2 + 3*(Tensaocis(j)^2))^0.5;
26 %
27 %Deflexão máxima do corpo da torre
28 deflexao(j)=(Cabo+Vento)*(h^3)/(6*E*I(j));
29 endfor
30 %
31 %Plotagem Von-mises em função do raio interno
32 figure 1
33 plot(Rint*1000,vonmises/1000000)
34 title('Cálculo de tensão com variação da espessura')
35 xlabel('Raio Interno (mm)')
36 ylabel('Tensão de Von-Mises (MPa)')
37 %Plotagem deflexão em função do raio interno
38 figure 2
39 plot(Rint*1000,deflexao*1000)
40 title('Cálculo de deflexão com variação da espessura')
41 xlabel('Raio Interno (mm)')
42 ylabel('Deflexão (mm)')
43 for i=10:18
44 Rint(i)*100
45 vonmises(i)/1000000
46 deflexao(i)*1000
47 endfor

```

ANEXO E. TABELA DE TUBOS

Diâmetro			Espessura Parede (mm)	Peso (kg/m)	Denom. API 5L	Schedule Nº
Norm. (pol)	Externo (mm)	Interno (mm)				
10"	273,0	230,12	21,44	133,00	-	120
		222,20	25,40	155,09	XXS	140
		215,84	28,58	172,26	-	160
12"	323,8	311,14	6,35	49,71	-	20
		307,04	8,38	65,18	-	30
		304,74	9,53	73,86	STD	-
		303,18	10,31	79,70	-	40
		298,40	12,70	97,43	XS	-
		295,26	14,27	108,92	-	60
		288,84	17,48	132,04	-	80
		282,56	20,62	154,16	-	-
		280,92	21,44	159,86	-	100
		273,00	25,40	186,91	XXS	120
14"	355,6	257,16	33,32	238,68	-	160
		342,90	6,35	54,69	-	10
		339,76	7,92	67,90	-	20
		336,54	9,53	81,33	STD	30
		333,34	11,13	94,55	-	40
		330,20	12,70	107,39	XS	-
		325,42	15,09	126,71	-	60
		317,50	19,05	158,10	-	80
		307,94	23,83	194,96	-	100
		300,02	27,79	224,65	-	120
16"	406,4	292,10	31,75	253,56	-	140
		284,18	35,71	281,70	-	160
		393,70	6,35	62,64	-	10
		390,56	7,92	77,83	-	20
		387,36	9,53	93,27	STD	30
		381,00	12,70	123,30	XS	40
		373,08	16,66	160,12	-	60
		363,52	21,44	203,53	-	80
		354,02	26,19	245,56	-	100
		344,48	30,96	286,64	-	120
16"	406,4	333,34	36,53	333,19	-	140
		325,42	40,49	365,36	-	160

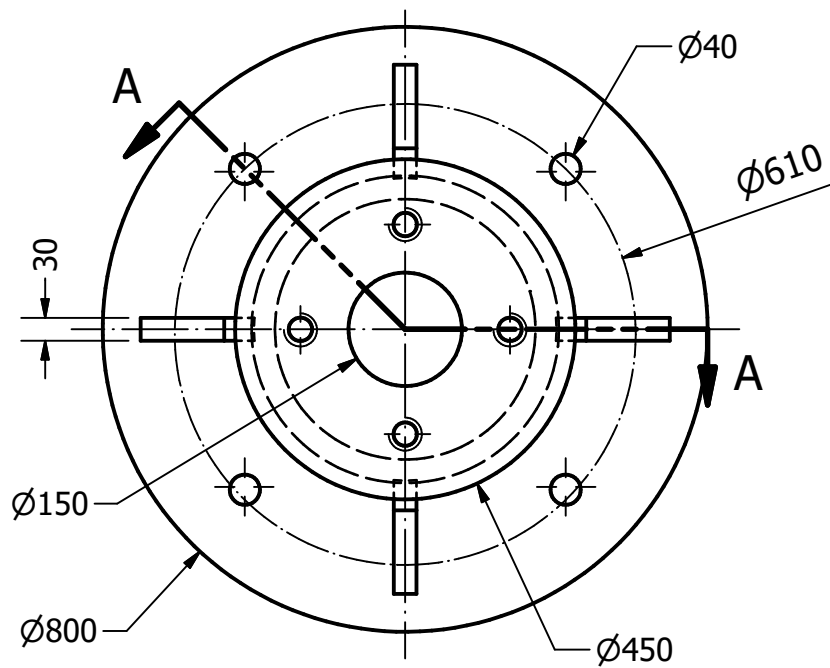
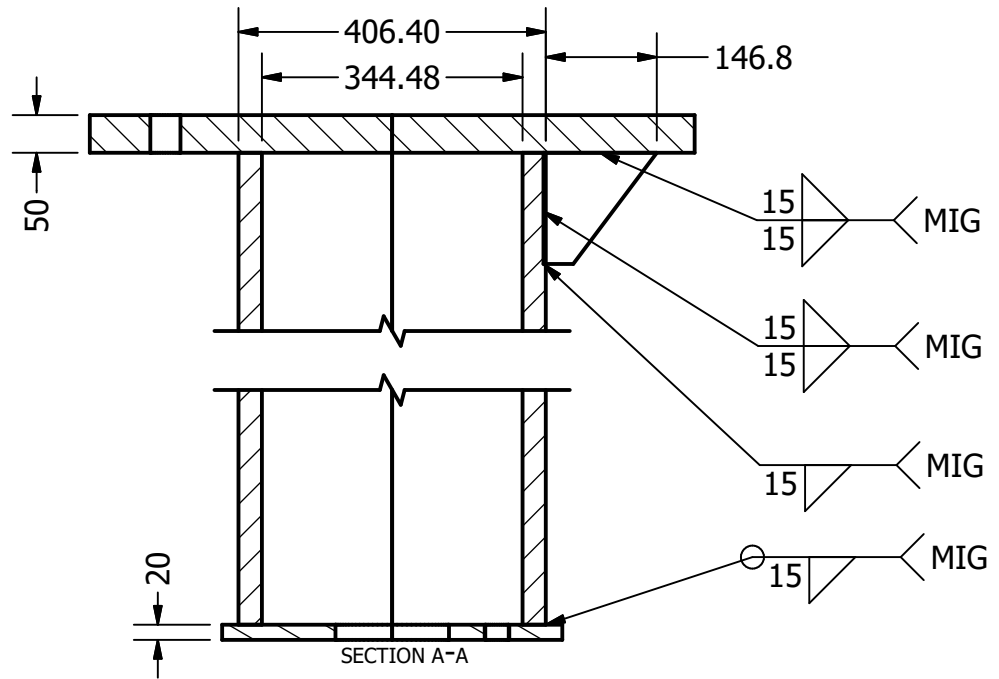
ANEXO F. DESENHOS TÉCNICOS





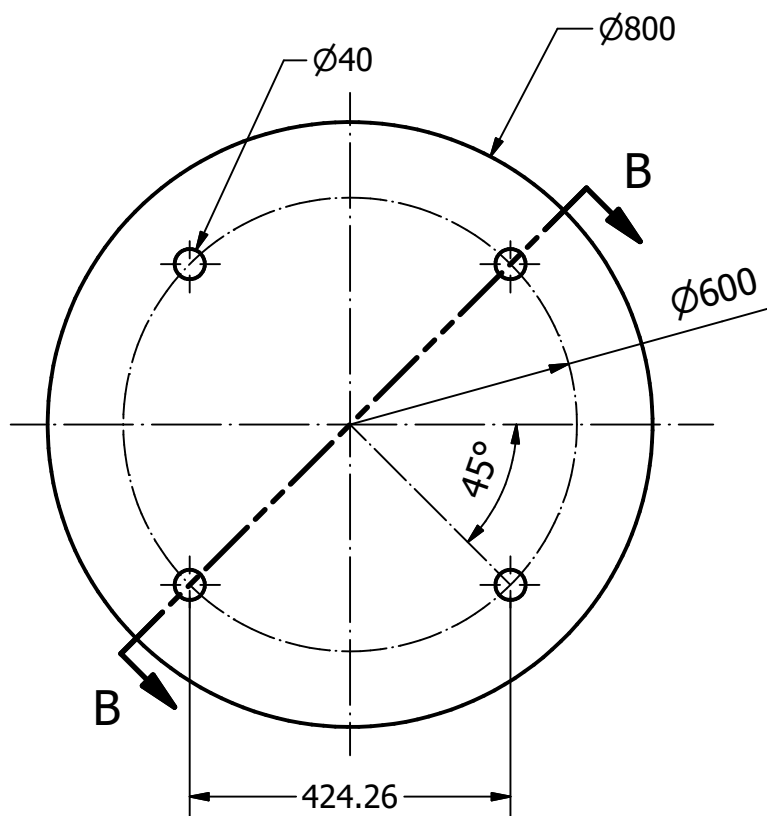
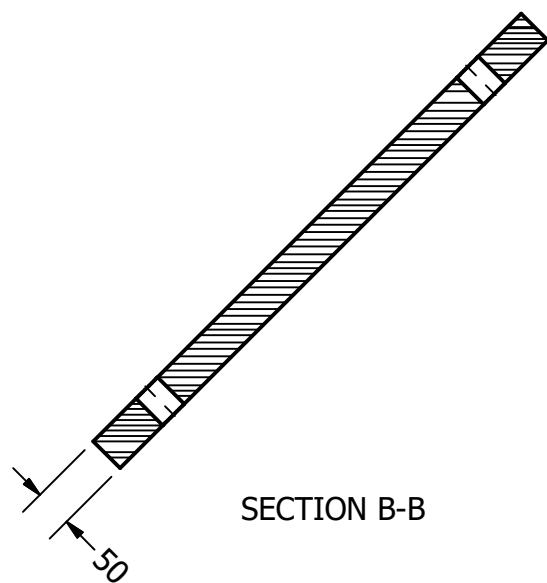
SECTION A-A


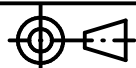
Componentes				
Peça	Denominação e observação	Desenho	Quant.	Material e dimensões
13	Mancal dimensões gerais	10	1	Aço 52100
12	Parafuso 1"1/4 ASME 18.2.6	9	4	ASTM A325 - NC 1 1-4
11	Polia de transmissão	8	1	Aço ASTM A333 galvanizado - Diâmetro 700 mm
10	Chaveta	7	1	Aço ASTM A333 galvanizado - 80x50
9	Porca 3/4 ASME 18.2.6	6	4	ASTM A325 - NC 3/4
8	Parafuso 3/4 ASME 18.2.6	5	4	ASTM A325 - NC 3/4
7	Eixo	4	1	Aço SAE 4340 - Diâmetro 240 mm
6	Motor	3	1	Ferro fundido
5	Suporte do motor	2	1	Aço ASTM A333 galvanizado - Diâmetro 465 mm x Espessura 20 mm
4	Base do mancal	1.5	1	Aço ASTM A333 galvanizado - Diâmetro 450 mm
3	Corpo da torre	1.4	1	Aço ASTM A333 galvanizado - Diâmetro 406,4 mm
2	Nervura	1.3	4	Aço ASTM A333 galvanizado - Espessura 30mm
1	Base de fixação	1.2	1	Aço ASTM A333 galvanizado - Diâmetro 800mm

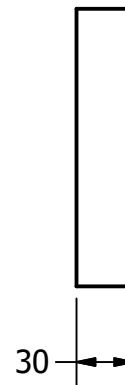
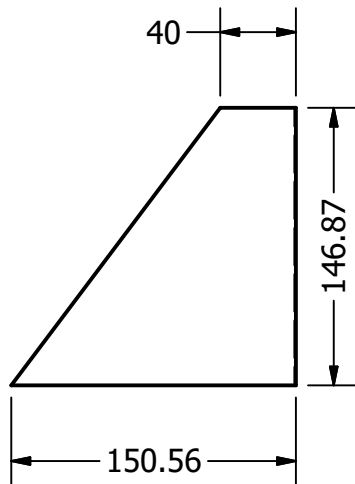
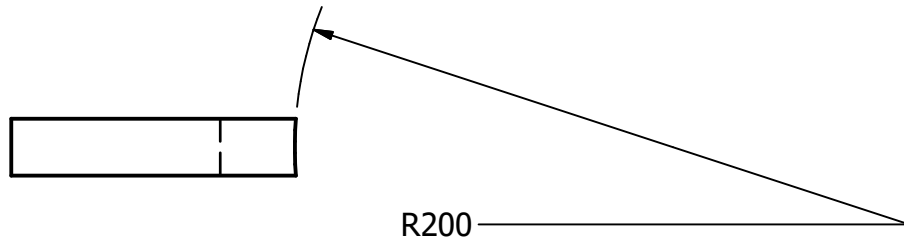
Aluno	Matheus de Almeida Ribeiro Reis	
Profs.	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier	
ESC:	Título: Sistema Cable Park - Unidade de torre (Desenho de conjunto)	
		Projeto Final
		Unidade: mm





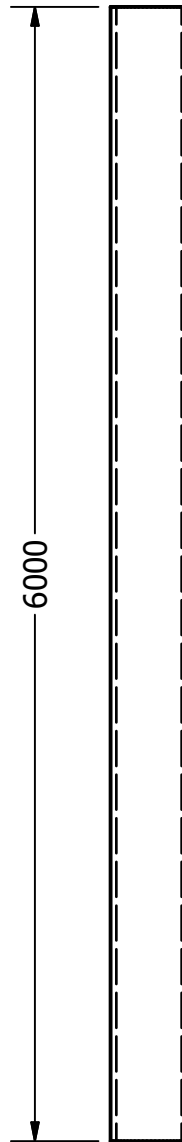
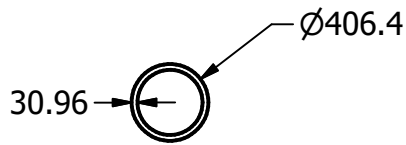
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA N°
1/10	Torre de sustentação	NÚMERO DO DESENHO	1
		1	 Unidade: mm





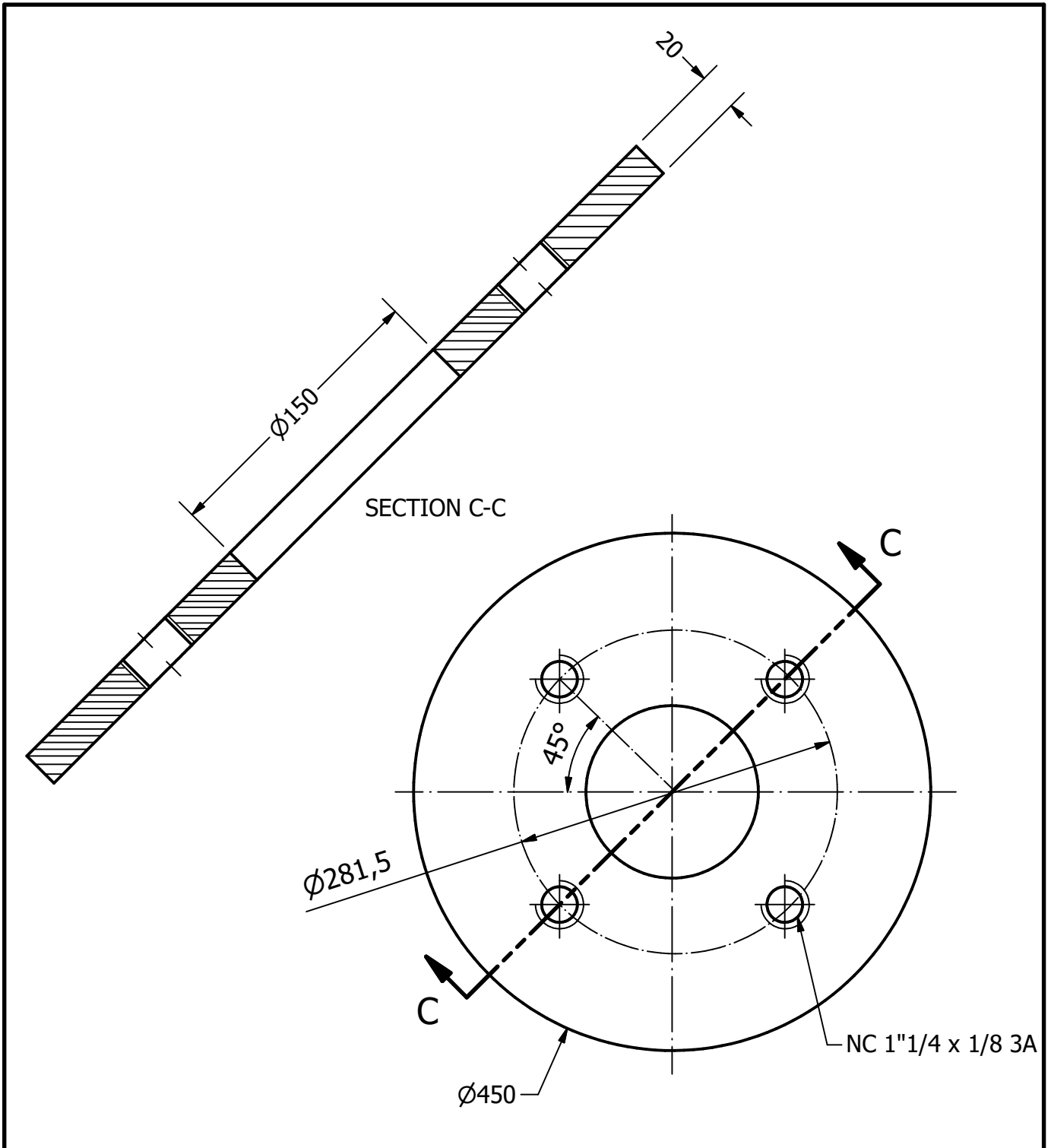
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA Nº 2
1/10	Base de fixação	NÚMERO DO DESENHO 1	 Unidade: mm





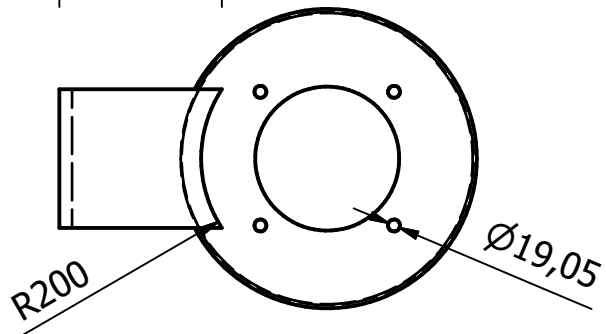
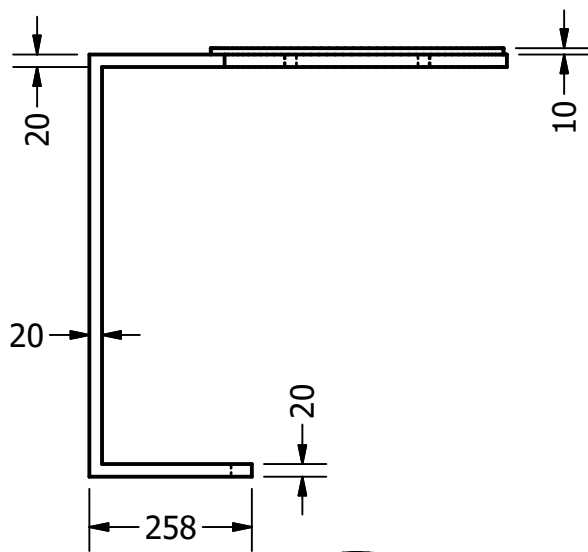
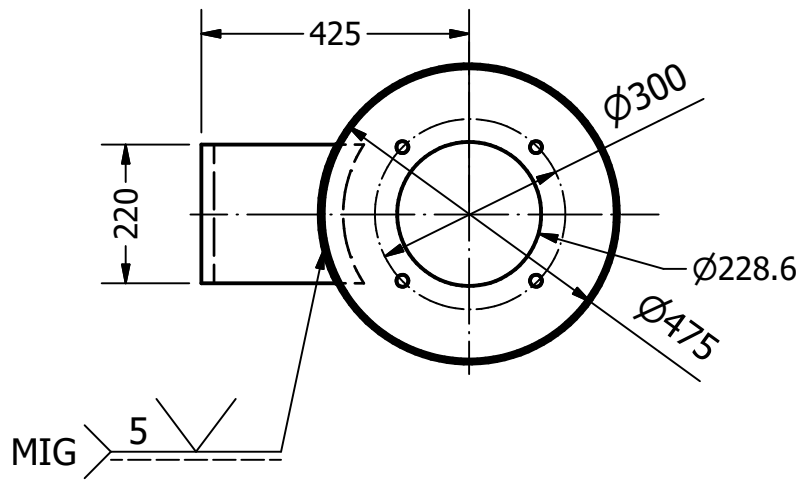
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA Nº
1/4	Nervura	NÚMERO DO DESENHO	3
		1	 Unidade: mm


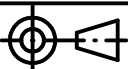


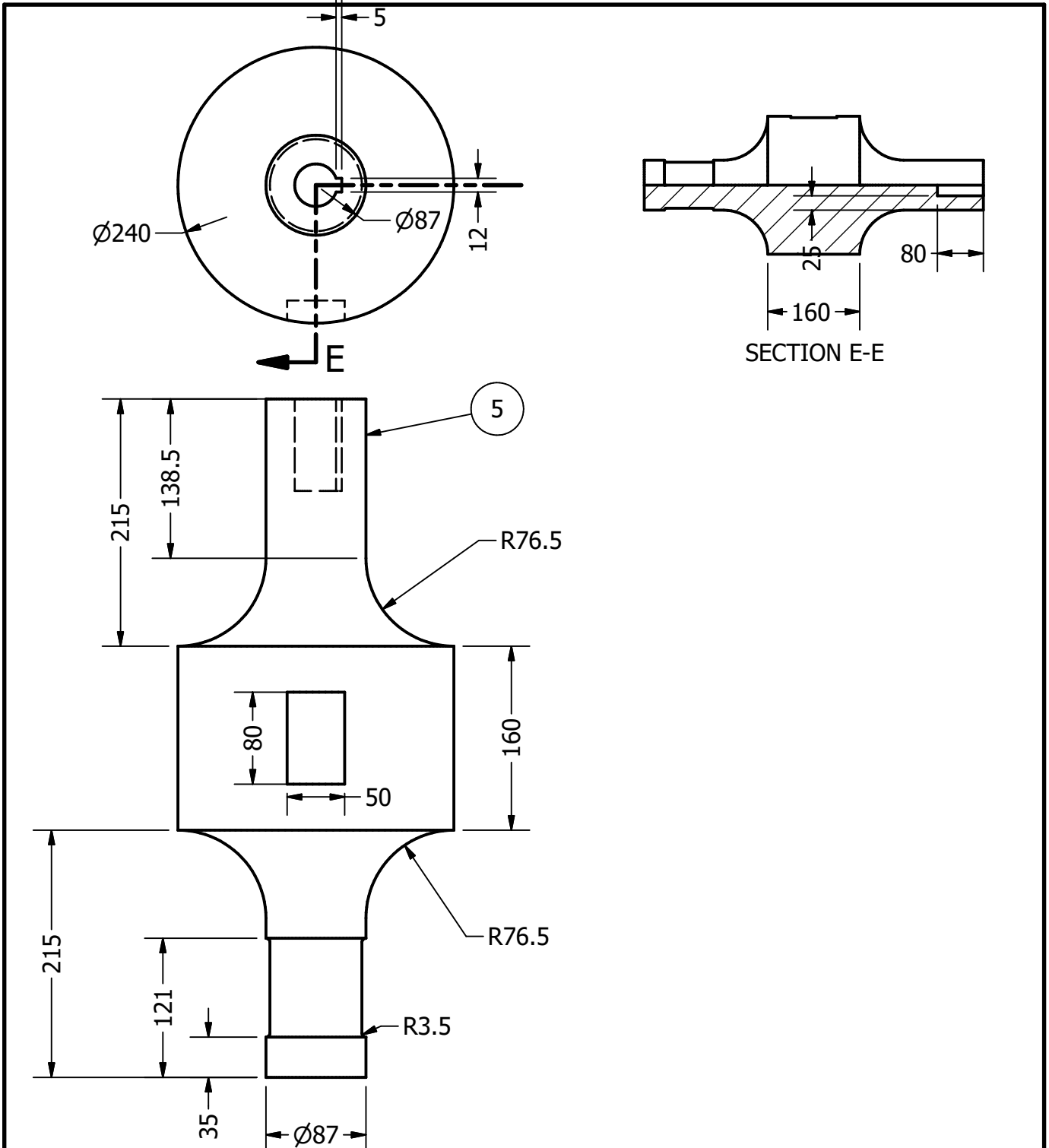
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA Nº
1/40	Corpo da torre	NÚMERO DO DESENHO	4
		1	 Unidade: mm





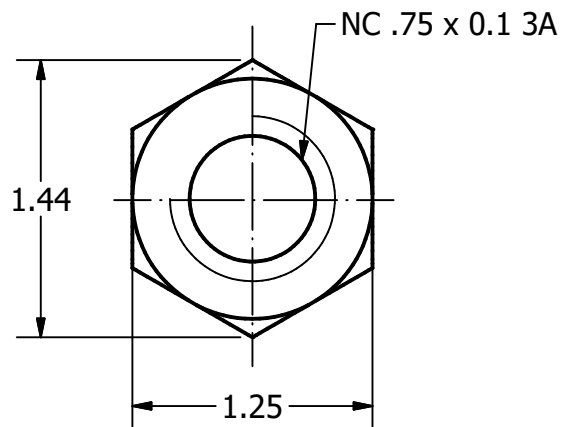
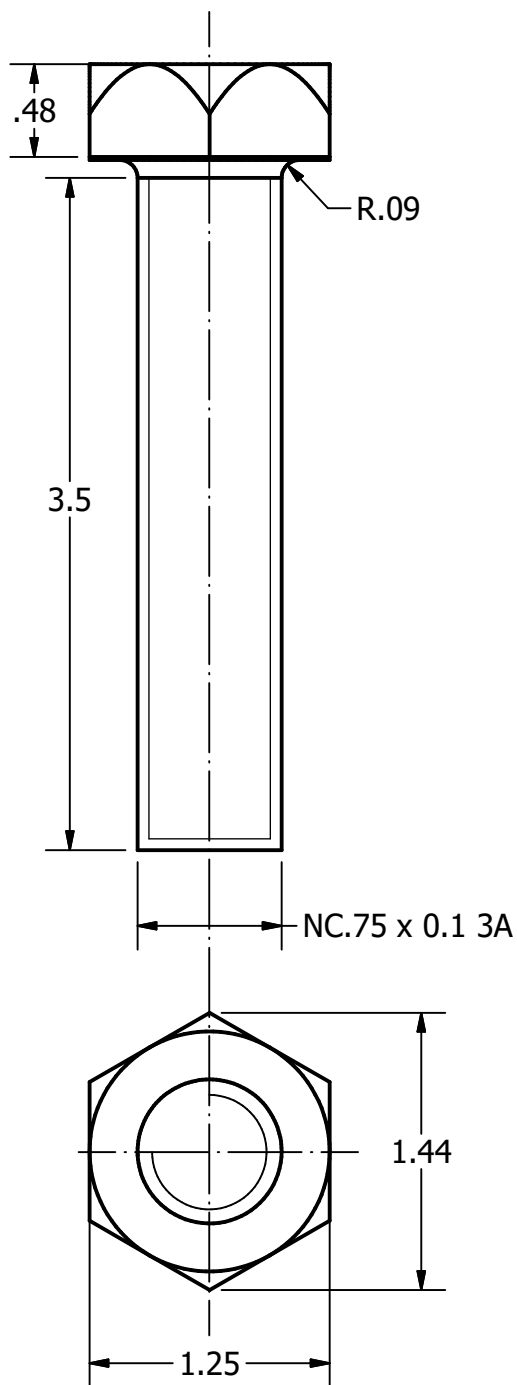
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA N°
1/5	Base do mancal	NÚMERO DO DESENHO	5
		1	 Unidade: mm





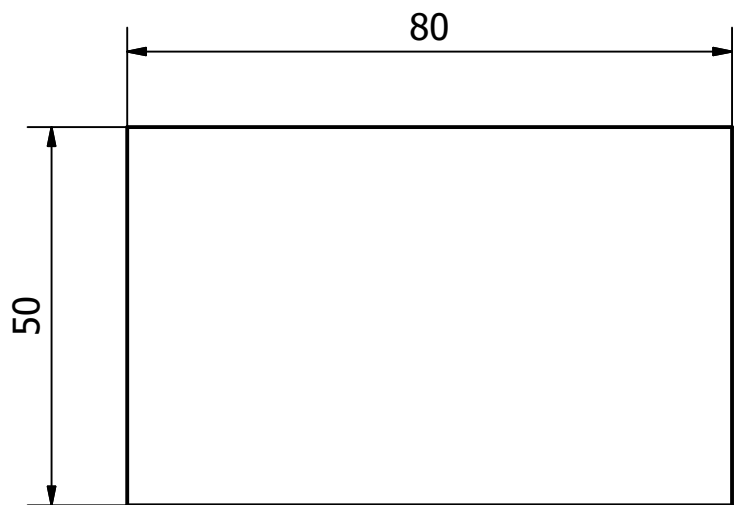
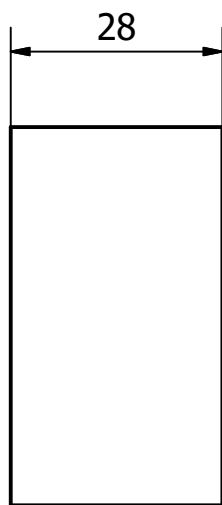
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA N°
1/12	Suporte motor	NÚMERO DO DESENHO	1
		2	 Unidade: mm





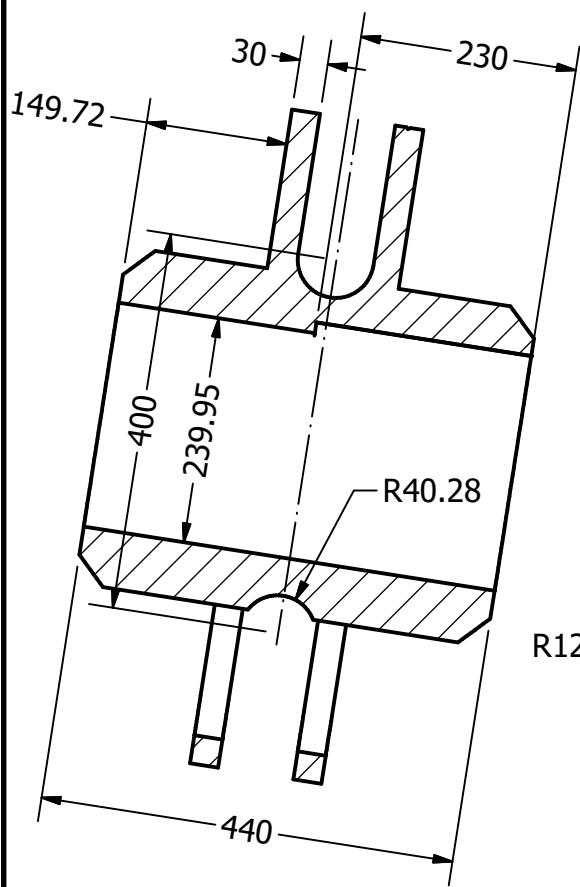
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA Nº
1/5	Eixo	NÚMERO DO DESENHO	1
		4	 Unidade: mm



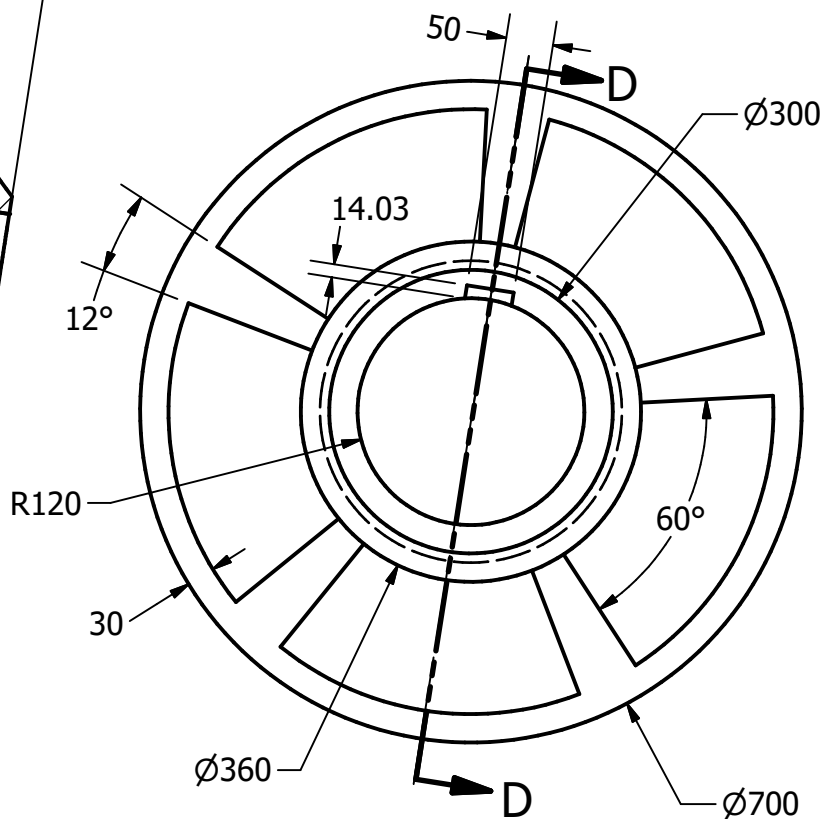
Aluno:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
Prof:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
Data:			
ESC:	Parafuso e Porca 3/4 ASME 18.2.6	Projeto Final	Folha N° 1
1/1		Número do desenho 5 e 6	 Unidade: pol



ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA N°
1/1	Chaveta	NÚMERO DO DESENHO	1
		7	 Unidade: mm



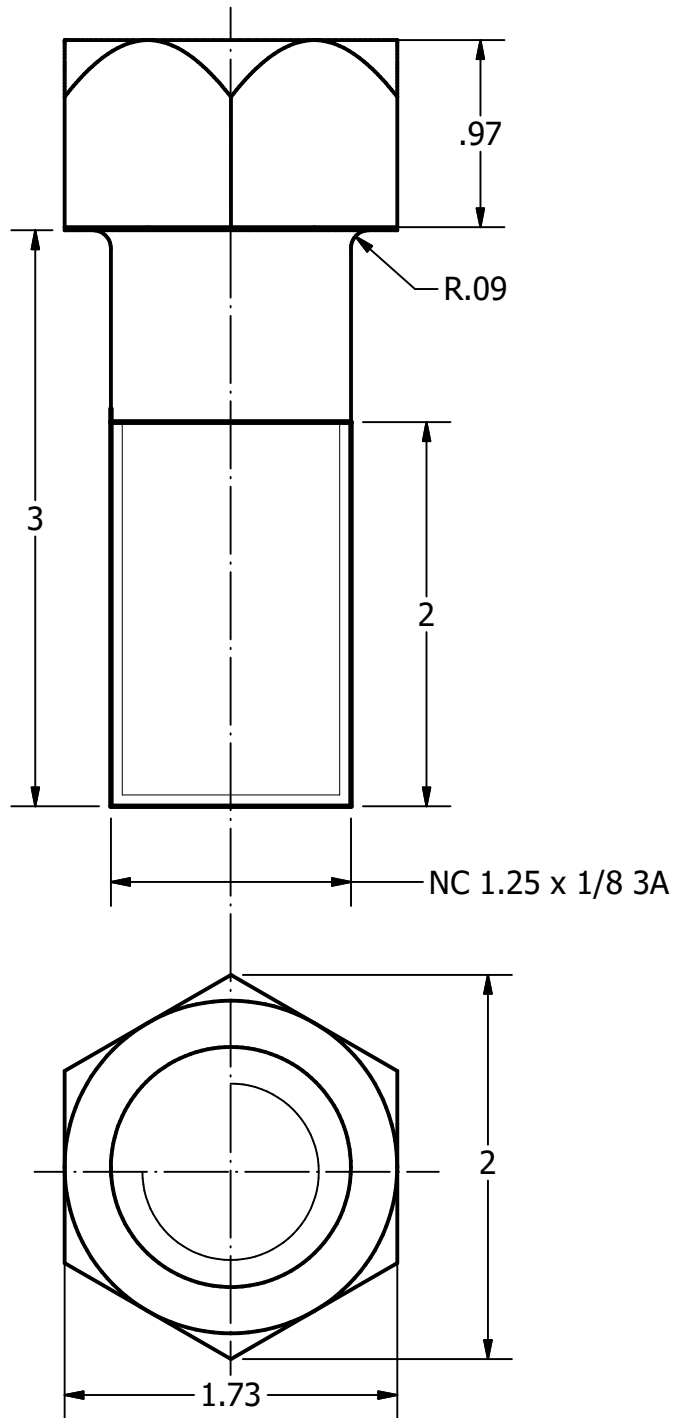
SECTION D-D
ESC 1/8





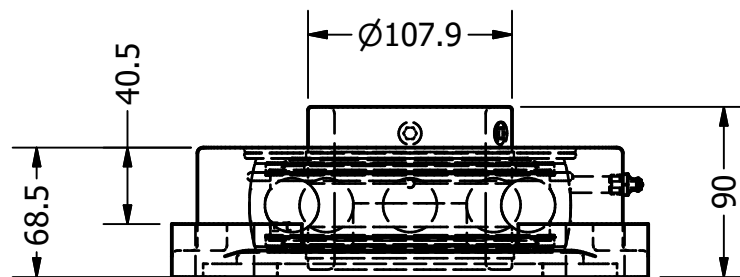
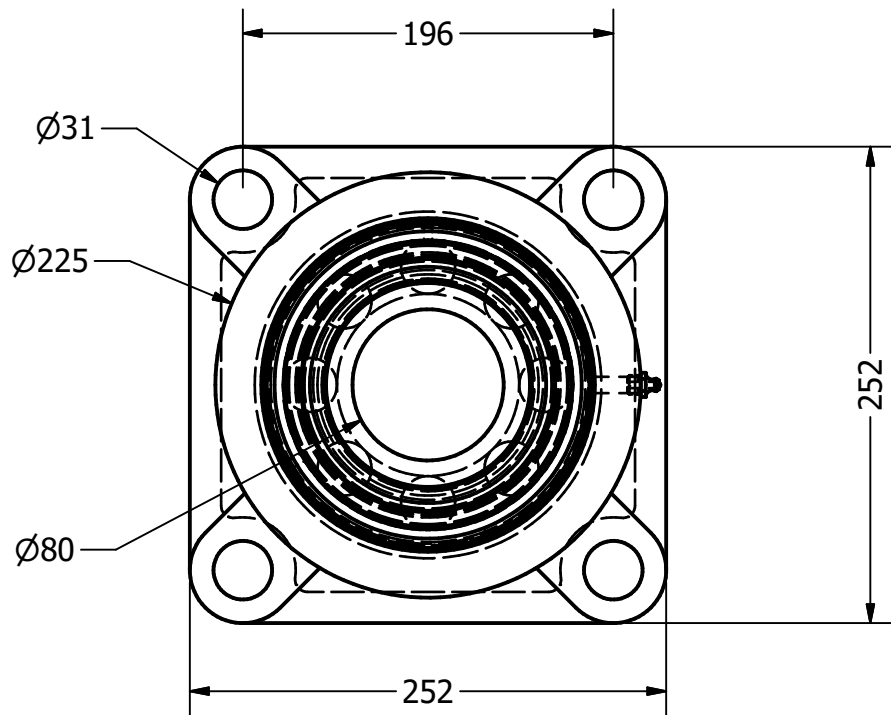
ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier
DATA:	


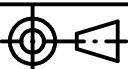


ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA Nº 1
1/8	Polia de transmissão	NÚMERO DO DESENHO 8	Unidade: mm



Aluno:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
Prof:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
Data:			
ESC:	Parafuso 1"1/4 ASME 18.2.6	Projeto Final	Folha N° 1
1/1		Número do desenho 9	 Unidade: pol



ALUNO:	Matheus de Almeida Ribeiro Reis		
PROF:	Ricardo Aguiar e Leydervan Xavier		
DATA:			
ESC:	Título:	PROJETO FINAL	FOLHA Nº
1/4	Mancal dimensões gerais	NÚMERO DO DESENHO	1
		10	 Unidade: mm

ANEXO G. FOLHA TÉCNICA MOTOR

FOLHA DE DADOS

Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola



Cliente :

Linha do produto : W22

Código do produto : 11790015

Carcaça	: 160L	Tempo de rotor bloqueado	: 45s (frio) 25s (quente)
Potência	: 7.5 kW (10 HP-cv)	Elevação de temperatura	: 80 K
Número de polos	: 8	Regime de serviço	: S1
Frequência	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C a +40°C
Tensão nominal	: 220/380 V	Altitude	: 1000 m
Corrente nominal	: 31.0/17.9 A	Grau de proteção	: IPW55
Corrente de partida	: 155/89.7 A	Método de refrigeração	: IC411 - TFVE
Ip/In	: 5.0	Forma construtiva	: B35D
Corrente a vazio	: 19.5/11.3 A	Sentido de rotação ¹	: Ambos
Rotação nominal	: 875 rpm	Nível de ruído ²	: 54.0 dB(A)
Escorregamento	: 2.78 %	Método de partida	: Partida direta
Conjugado nominal	: 81.9 Nm	Massa aproximada ³	: 148 kg
Conjugado de partida	: 190 %		
Conjugado máximo	: 229 %		
Classe de isolamento	: F		
Fator de serviço	: 1.25		
Momento de inércia (J)	: 0.2019 kgm ²		
Categoria	: N		

Potência	50%	75%	100%	Esforços na fundação	
Rendimento (%)	88.0	89.5	89.5	Tração máxima	: 2238 N
Cos Φ	0.51	0.64	0.71	Compressão máxima	: 3694 N

Perdas nos pontos de operação normativos (rotação;conjugado), em relação a potência nominal

P1 (0,9;1,0)	P2 (0,5;1,0)	P3 (0,25;1,0)	P4 (0,9;0,5)	P5 (0,5;0,5)	P6 (0,5;0,25)	P7 (0,25;0,25)
11.5	10.3	10.0	6.2	4.8	3.6	2.8

		<u>Dianteiro</u>	<u>Traseiro</u>
Tipo de mancal	:	6309 ZZ C3	6209 ZZ C3
Vedação	:	V'Ring	V'Ring
Intervalo de lubrificação	:	-	-
Quantidade de lubrificante	:	-	-
Tipo de lubrificante	:	Mobil Polyrex EM	

Observações

Esta revisão substitui e cancela a anterior, a qual deverá ser eliminada.
(1) Olhando a ponta de eixo dianteira do motor.
(2) Medido a 1m e com tolerancia de +3dB(A).
(3) Massa aproximada sujeito a alteração após fabricação.
(4) Em 100% da carga nominal.

Os valores indicados são valores médios com base em ensaios e para alimentação em rede senoidal, sujeitos as tolerancias da norma ABNT NBR 17094.

Rev.	Resumo das modificações	Executado	Verificado	Data
Executor				
Verificador				
Data	25/04/2023		Página 1 / 5	Revisão

CURVA DE TORQUE E CORRENTE x ROTAÇÃO

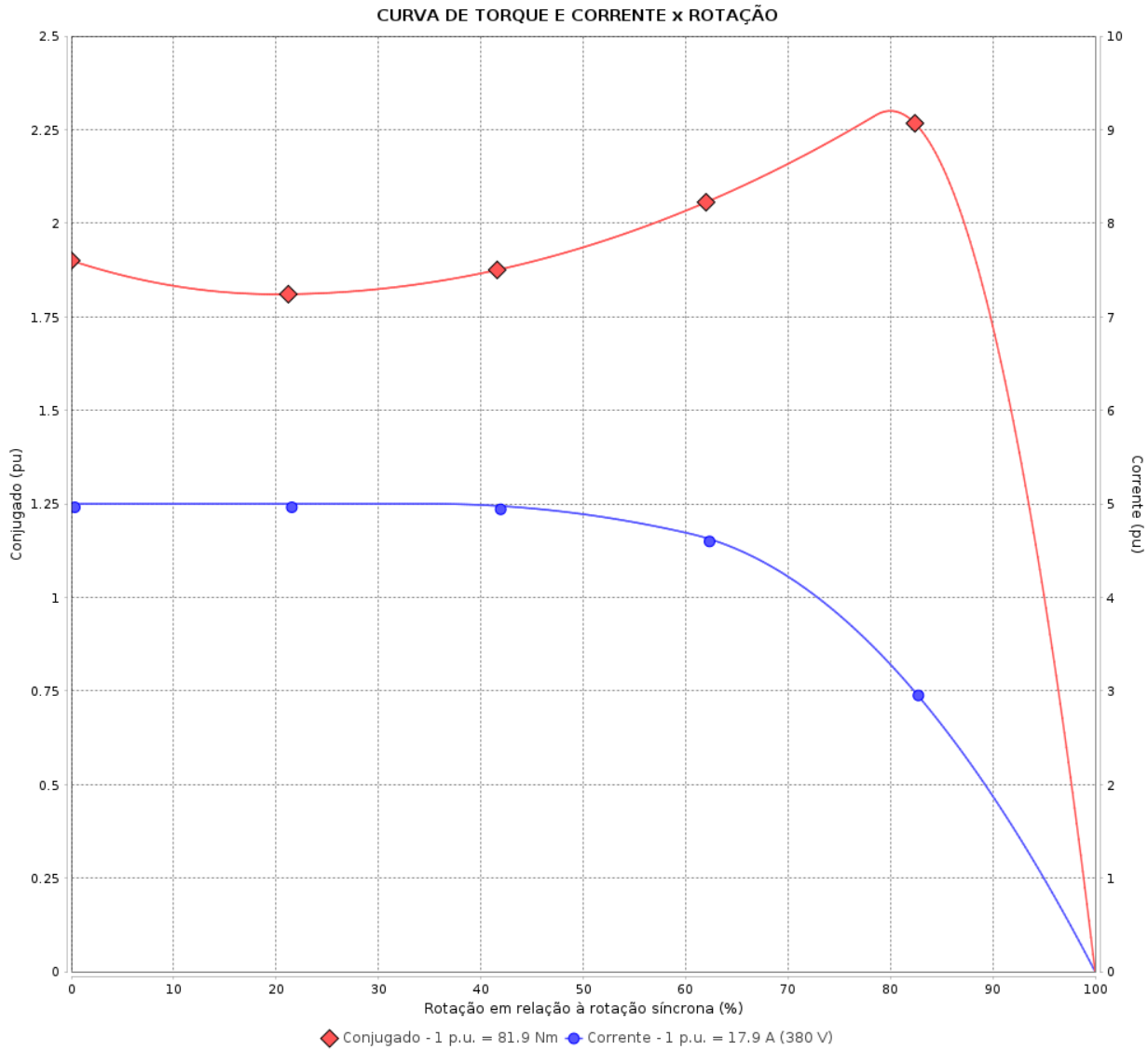
Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola



Cliente : _____

Linha do produto : W22

Código do produto : 11790015



Desempenho : 220/380 V 60 Hz 8P

Corrente nominal	: 31.0/17.9 A	Momento de inércia (J)	: 0.2019 kgm ²
Ip/In	: 5.0	Regime de serviço	: S1
Conjugado nominal	: 81.9 Nm	Classe de isolamento	: F
Conjugado de partida	: 190 %	Fator de serviço	: 1.25
Conjugado máximo	: 229 %	Elevação de temperatura	: 80 K
Rotação nominal	: 875 rpm	Categoria	: N

Tempo de rotor bloqueado : 45s (frio) 25s (quente)

Rev.	Resumo das modificações	Executado	Verificado	Data
Executor		Página		Revisão
Verificador		2 / 5		
Data	25/04/2023			

CURVA DE DESEMPENHO EM CARGA

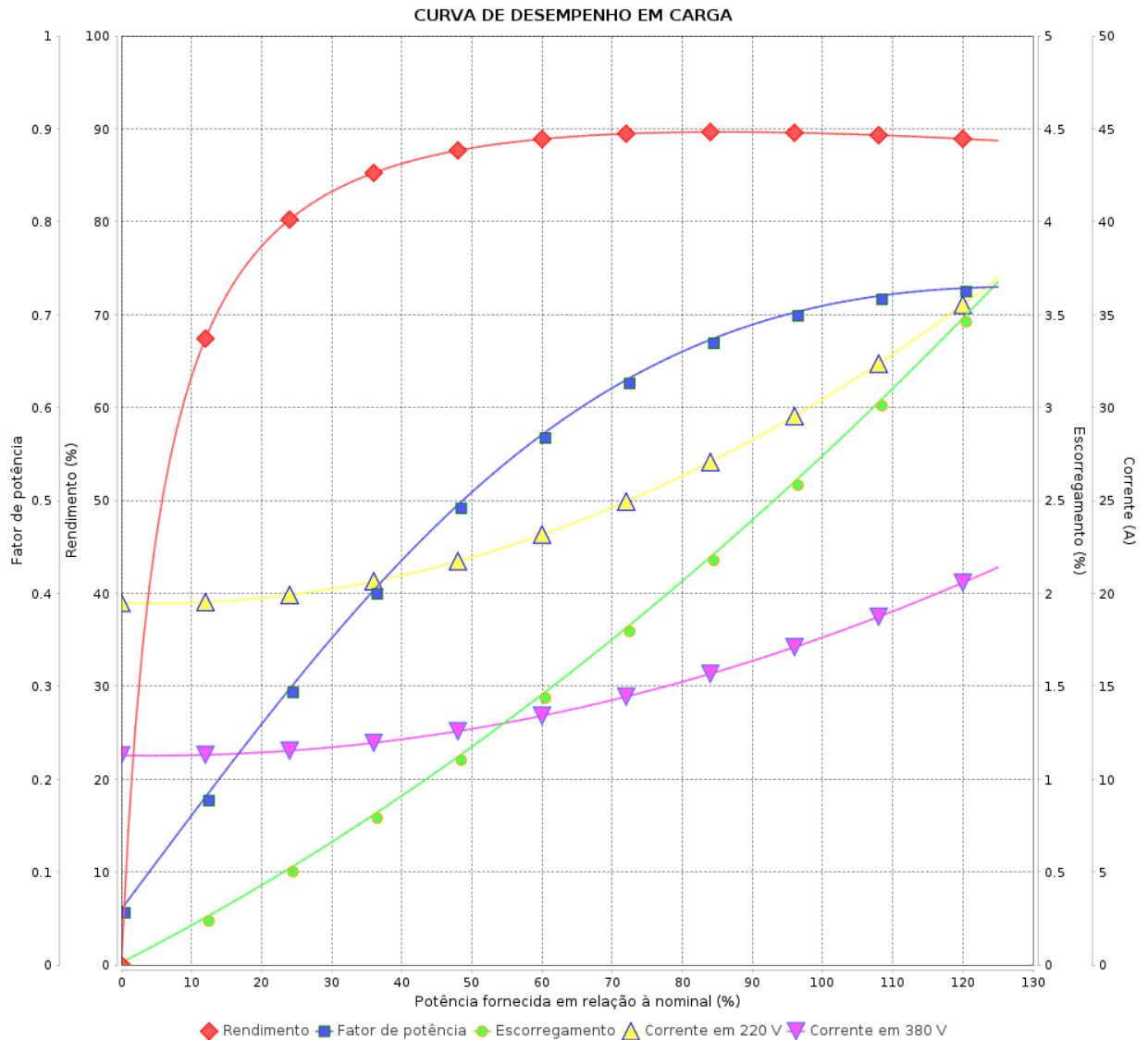
Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola



Cliente :

Linha do produto : W22

Código do produto : 11790015



Desempenho : 220/380 V 60 Hz 8P

Corrente nominal : 31.0/17.9 A
 I_p/I_n : 5.0
 Conjugado nominal : 81.9 Nm
 Conjugado de partida : 190 %
 Conjugado máximo : 229 %
 Rotação nominal : 875 rpm

Momento de inércia (J) : 0.2019 kgm²
 Regime de serviço : S1
 Classe de isolamento : F
 Fator de serviço : 1.25
 Elevação de temperatura : 80 K
 Categoria : N

Rev.	Resumo das modificações	Executado	Verificado	Data
Executor			Página	Revisão
Verificador				
Data				

CURVA DE LIMITE TÉRMICO

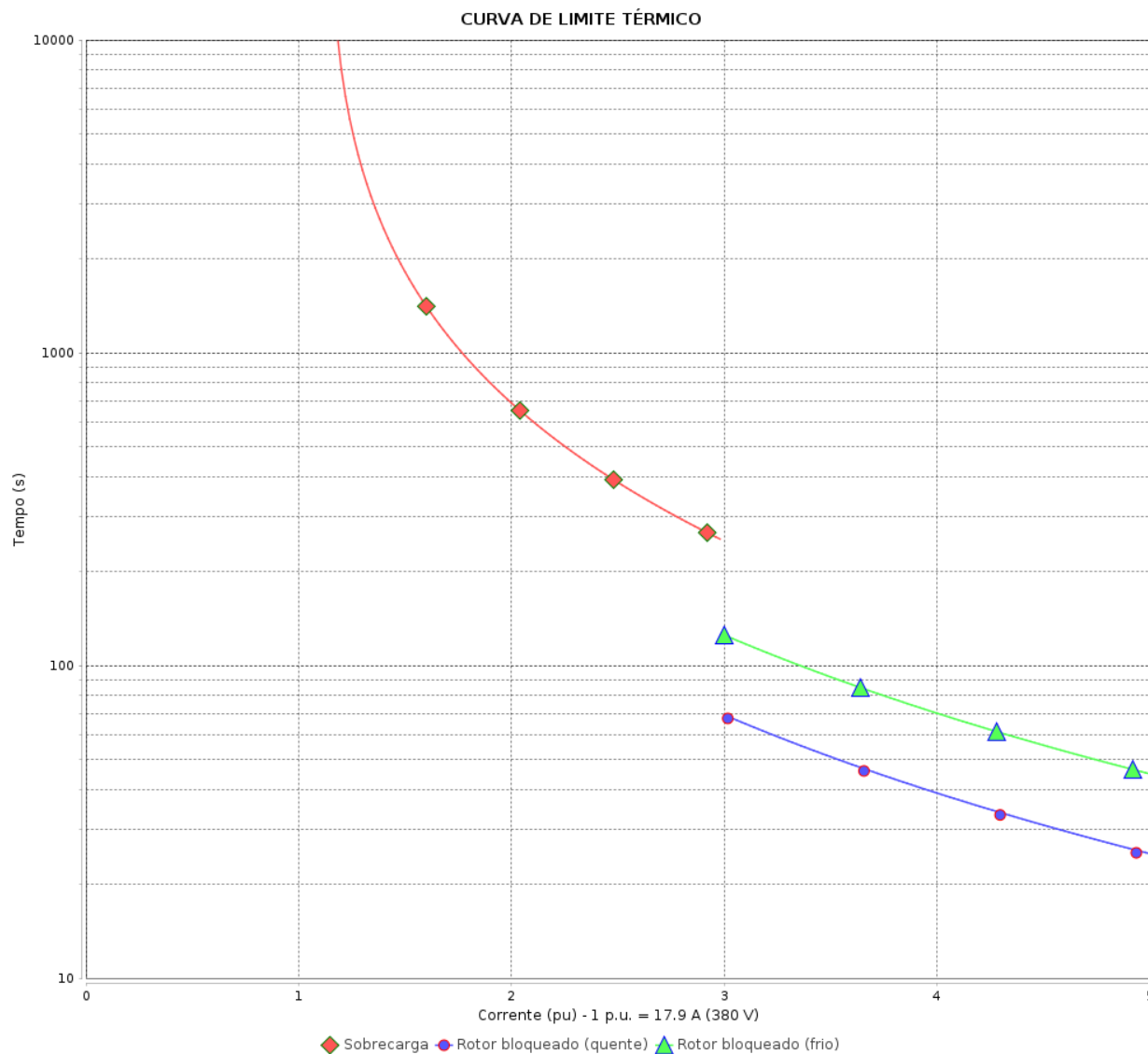
Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola



Cliente :

Linha do produto : W22

Código do produto : 11790015



Desempenho : 220/380 V 60 Hz 8P

Corrente nominal	: 31.0/17.9 A	Momento de inércia (J)	: 0.2019 kgm ²
Ip/In	: 5.0	Regime de serviço	: S1
Conjugado nominal	: 81.9 Nm	Classe de isolamento	: F
Conjugado de partida	: 190 %	Fator de serviço	: 1.25
Conjugado máximo	: 229 %	Elevação de temperatura	: 80 K
Rotação nominal	: 875 rpm	Categoria	: N

Constante de aquecimento

Constante de resfriamento

Rev.	Resumo das modificações	Executado	Verificado	Data
Executor				
Verificador				
Data	25/04/2023		Página 4 / 5	Revisão

CURVA DE OPERAÇÃO COM INVERSOR

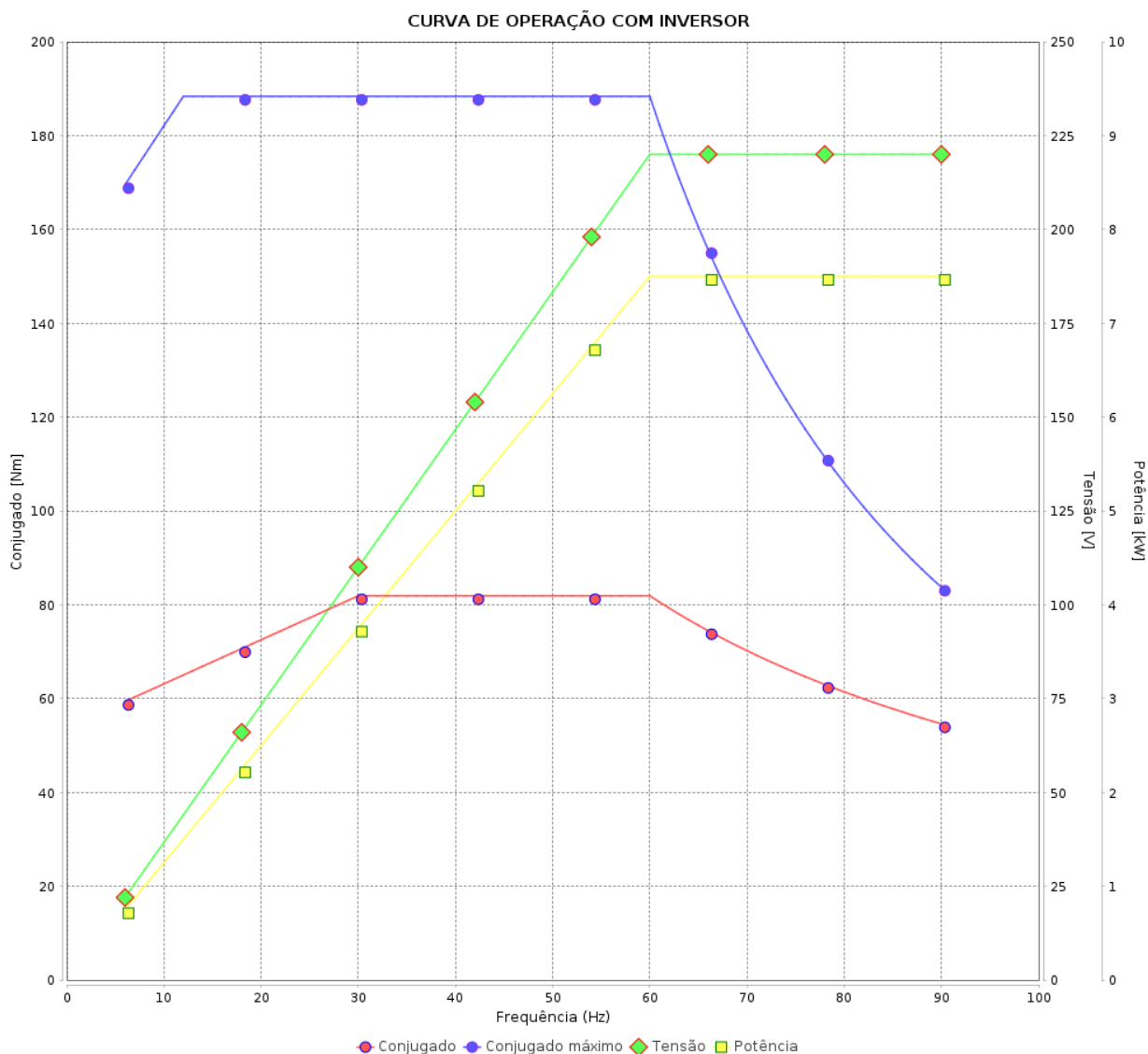


Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola

Cliente :

Linha do produto : W22

Código do produto : 11790015



Desempenho : 220/380 V 60 Hz 8P

Corrente nominal : 31.0/17.9 A
 I_p/I_n : 5.0
 Conjugado nominal : 81.9 Nm
 Conjugado de partida : 190 %
 Conjugado máximo : 229 %
 Rotação nominal : 875 rpm

Momento de inércia (J) : 0.2019 kgm²
 Regime de serviço : S1
 Classe de isolamento : F
 Fator de serviço : 1.25
 Elevação de temperatura : 80 K
 Categoria : N

Rev.	Resumo das modificações	Executado	Verificado	Data
Executor			Página	Revisão
Verificador				
Data				