

ANA CAROLINA KUBO
IGOR LUIZ BASTOS DE ALMEIDA

SISTEMA DE POSICIONAMENTO PARA RADAR METEOROLÓGICO
COM AUTOMAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE VARREDURA

São Paulo

2014

ANA CAROLINA KUBO
IGOR LUIZ BASTOS DE ALMEIDA

Sistema de posicionamento para radar meteorológico com automação de estratégias de varredura

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de Título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador:

Prof. Dr. Marcos Ribeiro Pereira-Barretto

São Paulo

2014

ANA CAROLINA KUBO
IGOR LUIZ BASTOS DE ALMEIDA

Sistema de posicionamento para radar meteorológico com automação de estratégias de varredura

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de Título de Engenheiro Mecatrônico.

Área de concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Dr. Marcos Ribeiro Pereira-Barretto

São Paulo
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Kubo, Ana Carolina

Sistema de posicionamento para radar meteorológico com automação de estratégias de varredura / AnC. Kubo, I.L.B. de Almeida. – São Paulo, 2014.

211 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Meteorologia com radar 2.Radar (Automação) I.Almeida, Igor Luiz Bastos de II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos III.t.

Eu, Ana Carolina Kubo, dedico este Trabalho de Formatura ao meu pai, Walter Tomio Kubo (*in memoriam*), que apesar de ter se formado médico, possuía alma de engenheiro.

Eu, Igor Luiz Bastos de Almeida, dedico as minhas conquistas aos meus avós, Luiz Bastos e Walquire de Almeida *in memoriam*. Estes Homens simples não passaram pelos bancos de uma Universidade, mas me transmitiram todos os exemplos de Amor, Espírito de Luta, Coragem, Determinação e Senso de Justiça, bagagem sólida, que utilizei para alcançar a minha meta, o título de Engenheiro Mecatrônico.

“Projeto é um esforço temporário com o objetivo de criar um produto ou serviço novo”,
Guia PMBOK

“O projeto que originou este Trabalho de Conclusão de Curso foi um esforço que teve
início, meio e fim produtivo, o meu conhecimento de engenharia mecatrônica”
Igor Luiz Bastos de Almeida

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Aos nossos pais que sempre nos proporcionaram uma educação de qualidade, tornando possível nosso ingresso na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por tudo que nos proporcionou durante os cinco anos de curso.

A todos os professores do Curso de Engenharia Mecatrônica da Poli-USP, que tudo fizeram para transmitir seus ensinamentos, contribuindo para a nossa formação.

Ao nosso orientador do Trabalho de Formatura, Prof. Dr. Marcos Barretto, pela competência acadêmica e incentivo com que nos conduziu para o desenvolvimento deste produto final.

Ao Prof. Dr. Carlos Morales do Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG –USP) que disponibilizou o tema do Trabalho, a oficina do IAG, bem como a maior parte do subsídio para a construção do protótipo.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A colaboração do Prof. Dr. Oswaldo Horikawa, que, com sua experiência prática, nos ajudou durante a criação do conceito do projeto mecânico.

Ao Sr. Iran Godoi pelas horas de trabalho conjunto que contribuíram para o desenvolvimento do projeto mecânico e de nossa formação como engenheiros, transmitindo sempre sua experiência e traduzindo nossos conceitos.

Ao técnico da Oficina do Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG –USP) José Silva pela fabricação das peças para o protótipo.

Ao Sr. Valter F. de Oliveira que gentilmente fabricou peças para o protótipo desenvolvido.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Mecatrônica pelo respeito com que nos trataram durante estes anos de curso.

Ao Prof. Dr. Diolino dos Santos Filho, que como tutor do PET Mecatrônica, contribuiu para nossa formação como cidadãos e engenheiros.

AGRADECIMENTOS PESSOAIS DE ANA

À minha mãe, Cinthia Luiza Durci Kubo, a qual acompanhou toda minha jornada na Escola Politécnica e cujo apoio tornou possível a finalização de mais essa etapa de minha vida.

Às minhas avós Guiomar Rossi Durci e Meyre Kubo que, com seu amor e carinho de avó, me passaram experiências e ensinamentos de vida.

Ao meu avô Osmar Durci (*in memoriam*) que me ensinou como ser uma pessoa de bom coração e caráter.

Aos amigos Politécnicos e ex-Petianos, que me auxiliaram e acompanharam nessa etapa da minha vida.

Ao parceiro de Trabalho de Formatura Igor, cuja capacidade, habilidade e empenho foram imprescindíveis para a execução do projeto.

AGRADECIMENTOS PESSOAIS DE IGOR

Às minhas queridas avós, Cecília Morato Bastos e Vanda Ferreira de Almeida pelos exemplos de vida, as palavras de amor e orações que dedicaram a minha existência.

Aos meus amigos Anna Maria Delgado e David Seneor, pelo carinho e solidariedade irrestrita, além das indicações e sugestões técnicas que contribuíram para a construção desse protótipo original.

À minha irmã Desirée Bastos de Almeida, pelo carinho e admiração que sempre me dedicou, além de sua colaboração com a criação do desenho artístico que leva o nome do Sistema de Posicionamento para o Radar Meteorológico.

Aos meus tios Conceição Ferreira Medeiros e Ilson Medeiros, Wilson Ferreira de Almeida e Cristina Antunes de Almeida, presentes em minha vida, pelo amor e palavras de incentivo que me impulsionaram.

À Raquel Rodrigues Figueiredo, minha namorada, pelo amor e companheirismo que me dedicou, principalmente nos momentos difíceis desta jornada.

Aos colegas do curso André Passanesi, Caio Rolim, Carolina Arakaki, José Dellamano, Lucas Ianni, Thiago Degaspere e Túlio Sales pelos momentos de amizade e companheirismo que fortaleceram esta fase de minha vida.

À minha mãe, Terezinha Morato Bastos de Almeida, que com seus exemplos de fé e amor me auxiliou com ternura a chegar até o final de mais essa jornada. Sem o apoio e incentivos diários dela este trabalho não seria possível.

RESUMO

Sistemas de posicionamento para radares são equipamentos de extrema importância em tarefas como apontamento e rastreamento de alvos. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um posicionador de dois graus de liberdade (azimute e elevação) que permite o acoplamento de antenas de radares com diâmetros variáveis (de 60 cm a 2 m), a fim de realizar varreduras automáticas para a caracterização atmosférica. O projeto desenvolvido em parceria com o Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAG-USP) permitiu a criação de uma estrutura mecânica, especificação e montagem da arquitetura de hardware, modelagem e controle do protótipo, desenvolvimento de software embarcado, bem como de uma Interface Homem-Máquina (IHM). A importância deste estudo foi construir um sistema de posicionamento simples, reproduzível e de baixo custo em relação às soluções comerciais.

Palavras-chave: Sistema de posicionamento de antena, Controle de posição, Radar meteorológico, Varreduras atmosféricas.

ABSTRACT

This project consists on the development of a weather radar antenna positioning system in partnership with the IAG-USP. The system will have two degrees of freedom (azimuth or yaw angle and pitch angle), and will perform complete scanning in order to characterize the surrounding atmosphere. One of the project's goals was to develop an interchangeable mechanism to various diameters' antennas (from 60cm to 2m) and also allow the coupling of more than one weather device. The developed project allowed the creation of a mechanical structure, specification of hardware architecture, modeling and control of the prototype, embedded software development, as well as a Human-Machine Interface (HMI). The importance of this study was to construct a simple positioning, reproducible and low cost system compared to commercial solutions.

Keywords: Radar antenna positioning system, Position control, Weather radar, Atmosphere scanning.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1.1 – Sistema esférico de coordenadas utilizado em radares.	18
Figura 2.1 – Esquemas dos mecanismos de azimuth e elevação da patente apresentada em a). Retirado de [14].	21
Figura 2.2 – Esquema referente à patente descrita em b). Retirado de [15].	22
Figura 2.3 – Esquema referente à patente descrita em c). Adaptado de [16].	23
Figura 2.4 – (a) Mecanismo do ângulo de elevação superior, (b) os dois mecanismos. Adaptado de [17].	24
Figura 2.5 – Modelo de antena. Adaptado de [5]	25
Figura 2.6 – Orientação de esforços da antena.	27
Figura 2.7 – Orientação de esforços da antena em azimuth.	27
Tabela 2-1	28
Tabela 3-1	33
Figura 3.1 – Antena de diâmetro de 60 cm.	34
Tabela 3-2	34
Figura 3.2 - Exemplo de gráfico disponibilizado. Reproduzido de [22]	36
Gráfico 3.1 - Velocidade máxima do vento para diversos diâmetros de antena com relação ao torque azimuthal constante induzido pelo vento	37
Gráfico 3.2 – Velocidade máxima do vento para diversos diâmetros de antena com relação ao torque de elevação constante induzido pelo vento	38
Tabela 3-3	39
Tabela 3-4	42
Tabela 3-5	43
Figura 3.3 – Arquitetura de Sensoriamento, Controle e Monitoramento	44
Tabela 3-6	46
Tabela 3-7	46
Figura 3.4 – Esquema de ligações eletrônicas do hardware	47
Figura 3.5 – Esquema de ligações elétricas entre componentes.	49
Tabela 3-8	49
Figura 3.6 – Tipos de posicionadores: (a) elevação sobre azimuth, (b) azimuth sobre elevação e (c) azimuth sobre elevação sobre azimuth.	50
Tabela 3-9	52

Tabela 3-10.....	53
Tabela 3-11.....	53
Figura 3.7 – Mecanismo de portão desmontado. Tem-se, da esquerda pra direita, luva telescópica, luva roscada deslizante e eixo.....	54
Tabela 3-12.....	55
Figura 3.8 - Foto das polias e correia sincronizadora para transmissão de movimento em azimute.	56
Figura 3.9 - Detalhe para as polias e eixo de azimute.	57
Figura 3.10 – Modelo esquemático biela-manivela.....	58
Figura 3.11 – Gráfico que demonstra a relação entre o movimento linear e o ângulo da bandeja.....	58
Figura 3.12 - Esquema aplicado ao desenho CAD do eixo de elevação.	59
Figura 3.13 - Detalhe de todo mecanismo de elevação: motor, acoplamento, luva telescópica e luva roscada deslizante.	60
Figura 3.14 - Suporte fixador do motor de elevação.	61
Tabela 3-13.....	61
Figura 3.15 - Fotos das polias e correia sincronizadoras do encoder do eixo de elevação.	62
Figura 3.16 - Esquema da alternativa a) para encoder elevação.	63
Figura 3.17 - Esquema da alternativa b) para encoder elevação.	63
Figura 3.18 - Esquema da alternativa a) para encoder azimute.....	64
Figura 3.19 - Esquema da alternativa b) para encoder elevação.	65
Tabela 3-14.....	65
Figura 3.20 – Diagrama de Blocos do dispositivo.....	67
Figura 3.23 – Diagrama de Casos de Uso do R-Pi.	71
Tabela 3-3-25.....	74
Figura 3.26 – (a) Tabela de Escalas de Impacto em Objetivos do Projeto e (b) Matriz de Probabilidade e Impacto. Adaptado de [2].	76
Tabela 3-16.....	77
Figura 4.1 - Protótipo final.	80
Figura 4.2 - Adaptador para acoplamento da antena parabólica.	81
Figura 4.3 - Eixo principal mecânico.	82
Figura 4.4 - Corpo do dispositivo.....	83
Figura 4.5 - Caixa de comando.....	84
Figura 4.6 – Tela "Conexão" da IHM.....	85

Figura 4.7 – Tela "Comando" da IHM.	86
Figura 4.8 – Tela "Modo manual" da IHM.	87
Figura 4.9 – Tela "Varredura" da IHM.....	88
Figura 4.10- Figuras do botão "Ajuda com varreduras".....	89
Figura 4.11 - Gráfico da velocidade: azimuth em vermelho e elevação em azul.	90
Figura 4.12 - Gráfico de uma varredura Fatia Elevacional - Triangular.	91
Figura 4.13 – Gráfico de uma varredura Fatia Azimutal.....	91
Figura 4.14 - Tela "Calibração" da IHM.	92
Figura 4.15 - Esquema da IHM (6).....	93
Tabela 4-1	94
Figura 4.16 - Sistema posicionador ARANI montado.	96
Figura 4.17 - Foto do protótipo com antena.	97
Figura 4.18 - Foto do protótipo com antena.	98
Figura 4.19 - Foto do protótipo com antena.	99
Figura 4.20 - Detalhes do sistema posicionador: a) eixo de elevação e sensores de fim de curso; b) peça adaptadora para acoplar a antena.	100
Figura 4.21 - Detalhe para os sensores de fim de curso do eixo de azimuth.....	101
Figura 4.22 - Caixa da eletrônica.....	102
Figura 4.23 - Conexões embaixo da caixa.....	102
Figura 5.1 - Transferidor posicionado em torno do eixo de azimuth para realização de testes.	103
Tabela 5-1	104
Figura 5.2 - Posição 1 do teste de repetibilidade do eixo azimuthal.	104
Figura 5.3 - Posição 2 do teste de repetibilidade do eixo azimuthal.	105
Figura 5.5 - Posição 3 do teste de repetibilidade do eixo azimuthal.	105
Figura 5.6 - Régua posicionada no eixo de elevação para realização de testes.....	106
Tabela 5-2	107
Figura 5.2 - Posição 1 do teste de repetibilidade do eixo elevacional.....	108
Figura 5.3 - Posição 2 do teste de repetibilidade do eixo elevacional.....	108

SUMÁRIO

1. Introdução.....	17
1.1 Motivação.....	17
1.2 Objetivo.....	18
1.3 Estrutura do trabalho	19
2. Revisão bibliográfica.....	20
2.1 Mecanismos para posicionamento de antenas.....	20
2.2 Modelagem de ventos.....	25
2.3 Controle de posição para antenas	28
2.4 Trabalhos relevantes e correlatos	29
2.5 Notas sobre normas técnicas e legislação	31
3. Projeto básico	33
3.1 Requisitos.....	33
3.2 Primeira abordagem	34
3.3 Análise de esforços estruturais ocasionados pelo vento.....	36
3.4 <i>Hardware</i> s do dispositivo	40
3.5 Mecânica	50
3.6 Software	66
3.7 Análise de riscos.....	75
4. Projeto final	80
4.1 Principais Componentes.....	80
4.2 Interface Homem-Máquina	84
4.3 Verificação de requisitos.....	93
4.4 Mitigação de riscos.....	94
4.5 Fotos do protótipo final	96
5. TESTES	103
5.1 Azimute	103
5.2 Elevação	106
6. Discussões	109
7. Conclusões.....	112
8. Referências Bibliográficas.....	113

APÊNDICES	
A) Manual do Usuário – Sistema Posicionador ARANI.....	
B) Desenhos de Fabricação	
C) Diagrama Elétrico	
D) Exemplo de arquivo de Log	
ANEXOS	
A) Datasheets	

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A meteorologia é uma ciência antiga que estuda a atmosfera terrestre e os fenômenos que nela ocorrem. A evolução dos estudos meteorológicos acompanhou os avanços tecnológicos que culminaram no desenvolvimento dos satélites e radares. Os radares, por exemplo, começaram a ser utilizados na Segunda Guerra Mundial para a localização de alvos e, após isso, passaram também a ser utilizados para fins meteorológicos, e atualmente são de extrema importância na área em questão.

Os radares meteorológicos são úteis para a detecção de eventos naturais como tornados, famosos pelo seu poder de destruição. Com o uso destes radares é possível detectar-se a formação de ciclones minutos antes da formação do fenômeno, fornecendo um intervalo de tempo suficiente para que os residentes de áreas sujeitas a centros de baixa pressão possam se abrigar em lugares seguros durante a passagem do fenômeno. Outra importância da utilização desses radares é prever tempestades e chuvas fortes, especialmente visando áreas de risco, como exemplo a da região serrana do Rio de Janeiro que, nos últimos anos, tem sido palco de tragédias, envolvendo enchentes, deslizamentos de terra e morte da população.

O aperfeiçoamento dos equipamentos para esta área da ciência é imprescindível, isto porque além de se destinar à caracterização da atmosfera local em um dado momento, podem também contribuir para minimizar problemas maiores no espaço aéreo e na agricultura. Portanto, o domínio dessa tecnologia é importante e tem caráter estratégico.

Em conjunto com o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, o projeto desenvolvido exigiu a utilização de conhecimentos multidisciplinares, os quais englobam projeto mecânico, eletrônico e de software para controle e processamento de dados, sintetizando uma plataforma que automatiza e auxilia nas funções de mapeamento da atmosfera através de um radar meteorológico.

No Instituto referido acima, existem antenas de radares tanto meteorológicos quanto utilizados para radioastronomia. Porém essas antenas se encontram em bases fixas e sua movimentação é exclusivamente manual. O objetivo deste Trabalho foi o desenvolvimento de um

sistema de posicionamento automático de dois graus de liberdade , utilizando trajetórias pré-programadas.

1.2 Objetivo

O projeto, concebido em parceria com o Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAG-USP), consistiu no desenvolvimento de um sistema de posicionamento de um radar meteorológico com dois graus de liberdade, realizando assim varreduras completas de caracterização atmosférica. Radares meteorológicos possuem dois graus de liberdade e realizam varreduras azimutais e de elevação (ver figura 1.1), caracterizando dessa forma a atmosfera do local no qual se encontra.

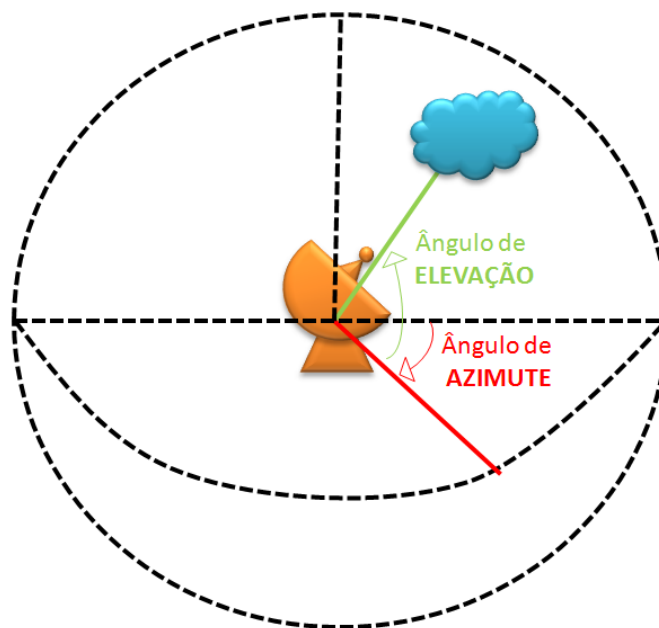


Figura 1.1 – Sistema de coordenadas esféricas utilizado em radares.

O sistema de posicionamento automático desenvolvido contemplou os projetos de: (1) uma estrutura mecânica robusta, intercambiável e móvel para antenas de diâmetros variáveis (de 60 cm a 2 m), que permite o acoplamento de mais de um instrumento meteorológico; (2) eletrônica, especificando-se e implementando a arquitetura de hardware para controle e acionamento; (3) software embarcado de controle; e (4) software de interface homem-máquina para monitoramento e automação de varreduras meteorológicas.

A principal meta do projeto foi a criação de um sistema simples, reproduzível, de relativo baixo custo e o desenvolvimento de softwares de aplicação.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta monografia está estruturada segundo os capítulos descritos a seguir.

O capítulo 2 consiste na revisão bibliográfica sobre o tema do projeto e as três vertentes mais importantes em que se divide: mecanismos para posicionamento de antenas, modelagem de ventos (principal esforço ao qual são submetidos os sistemas de posicionamento de radares) e controle de posicionamento. Este capítulo também apresenta trabalhos correlatos.

No capítulo 3 são levantados os requisitos funcionais do sistema como, por exemplo, resolução do posicionamento e velocidade de varredura, sendo documentada uma análise de riscos de caráter primário. O projeto foi então dividido em quatro subsistemas de modo a analisar alternativas de soluções individuais, visto que dependendo do subsistema existem diferentes tipos de parâmetros e critérios a serem analisados e pesados. Ao final do capítulo é apresentada a solução escolhida de todos os subsistemas.

No capítulo 4 apresenta-se o projeto final, como por exemplo, peças e componentes adquiridos, desenhos CAD e fotos do protótipo.

No capítulo 6 são levantados tópicos de discussão sobre o projeto e no capítulo 7 tem-se a conclusão da monografia, seguida pelas referências bibliográficas no capítulo 8.

No capítulo de Apêndices encontram-se o Manual do Usuário, os desenhos de fabricação das peças do sistema posicionador e também o diagrama elétrico detalhado.

No capítulo de Anexos tem-se algumas folhas de especificações de componentes utilizados no projeto, tais como motores, sensores e *drivers* de acionamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema criado baseou-se em radares comerciais existentes (o estado da arte) que realizam varreduras atmosféricas e são capazes de fornecer dados das condições climáticas existentes. Radares são sistemas extensamente estudados, no entanto, antenas passivas ou radiômetros para fins meteorológicos não são tão exploradas cientificamente. Segundo [3], “radiômetros são vastamente utilizados como parte de sistemas para inferir propriedades físicas das atmosferas e superfícies planetárias”.

Os mecanismos utilizados para o posicionamento de antenas de radares são parte de uma tecnologia já consolidada e são partes cruciais do dispositivo posicionador. O projeto mecânico buscou também ser robusta o suficiente para suportar o peso da antena e os esforços aos quais todo o sistema é sujeito. Em [1] e [4] esse tópico sobre mecanismos é abordado.

As considerações sobre rajadas de vento são as mais importantes relacionadas ao posicionamento de antenas e sua modelagem no tangente a esforços externos. [4] [5] [6] [7] [8]

A literatura mais recente se dedica as técnicas de controle para o posicionamento propriamente dito, referências: 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11.

Em [1] é apresentada uma arquitetura de hardware e software para o sistema de posicionamento de uma antena. Nas referências [12] e [13] pode-se extrair as principais funcionalidades necessárias para a Interface Homem-Máquina.

2.1 Mecanismos para posicionamento de antenas

Considerando-se que os radares não são uma tecnologia recente, no entanto, ainda largamente utilizada, pode-se notar que as soluções mecânicas dessa categoria de dispositivos já possuem soluções bastante consolidadas, como é perceptível nos produtos comerciais. Tendo em vista esse fato, o material relacionado ao mecanismo de posicionamento de antenas de radares é composto, essencialmente, de patentes.

Existe um grande número de patentes referente ao mecanismo de posicionamento, de compensação de erros nos dois principais eixos (azimute e elevação), e de fixação das ante-

nas. Dentre as patentes pesquisadas, as subsequentes foram apreciadas durante o desenvolvimento do projeto mecânico.

a) *Título da patente:* **Antenna positioning apparatus**

Ano: **1987**

Número da patente: **US4691207A**

Descrição: os mecanismos de azimute e elevação são separados e possuem diferentes características. Ambos os mecanismos estão situados dentro de um poste que é separado em duas partes: superior e inferior (figura 2.1). O mecanismo de azimute é constituído de uma transmissão planetária, na qual a menor engrenagem é acoplada ao eixo do motor, preso à metade inferior do poste. A engrenagem planetária fixa à parte superior do suporte, gira-a criando o grau de liberdade do ângulo de azimute. Já o mecanismo de elevação é composto por duas engrenagens, uma acoplada ao eixo de outro motor (que está fixo à metade superior através de uma coluna) e a outra acoplada ao fuso, o qual está preso à antena por meio de uma articulação, fazendo a parabólica subir e descer. Aparato de posicionamento para uma antena de radar posicionada na Terra. [14]

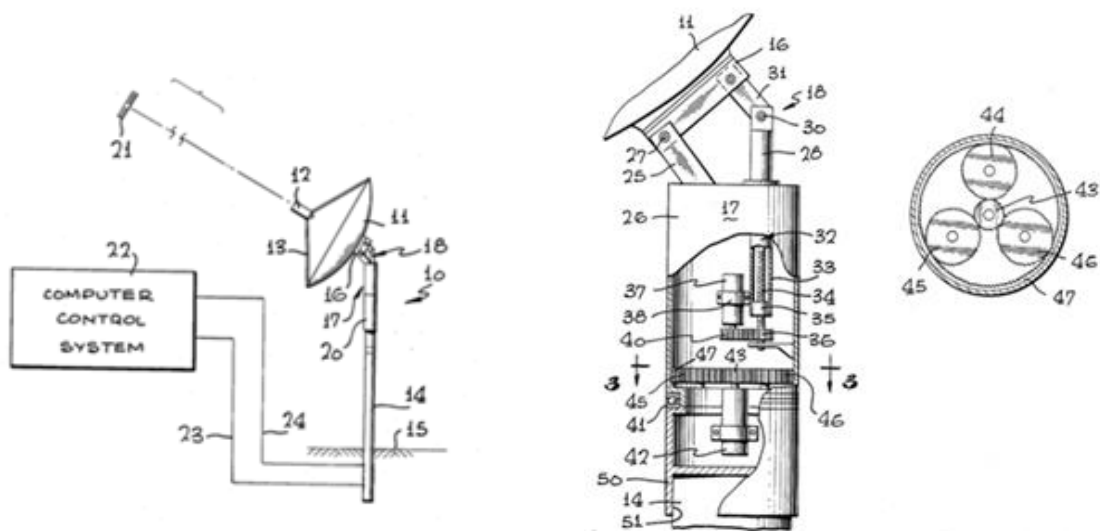


Figura 2.1 – Esquemas dos mecanismos de azimute e elevação da patente apresentada em a). Retirado de [14].

b) *Título da patente:* **Gimbal control system**

Ano: **1995**

Número da patente: **EP064499A1/B1** ou **US5557285**

Descrição: um dispositivo que compreende uma junta cardã (13) e uma antena (11) disposta sobre a junta. Um processador de controle (15) é acoplado a cardã para gerar os sinais de controle de posicionamento da antena. Um resolver¹(14) e um circuito de processamento de tipo derivativo são dispostos num circuito de retroalimentação que é acoplado a junta, através do qual o resolver proporciona sinais que são processados e então alimentados de volta para a junta cardã a fim estabilizar a suspensão do mesmo e corrigir sua flexibilidade também. [15]

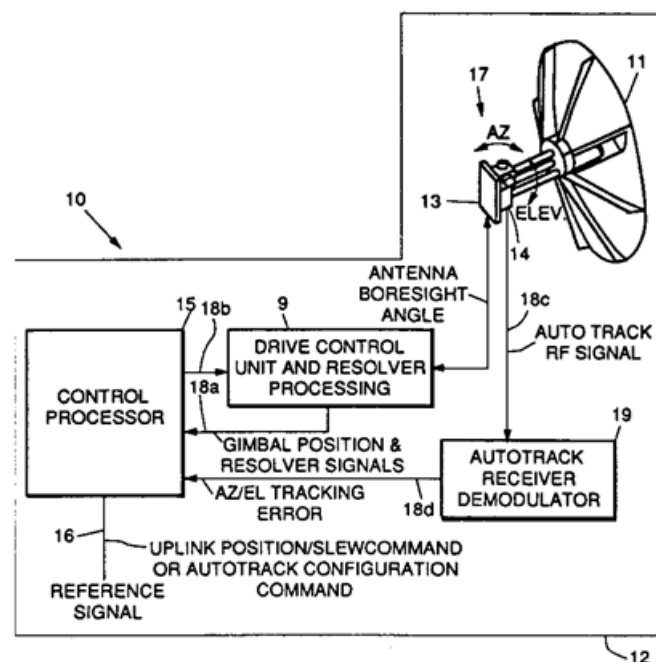


Figura 2.2 – Esquema referente à patente descrita em b). Retirado de [15].

c) *Título da patente:* **Antenna Positioning System**

Ano: **2010**

Número da patente: **US20100245196A1** ou **WO2010109437A2** ou **WO2010109437A2**

Descrição: um dispositivo para apontar um determinado objeto (por exemplo, uma antena de radar) para um alvo ao longo de um eixo (figura 2.3). É constituído por uma junta que permite pelo menos um ângulo de *pitch* (inclinação) e um ângulo de *yaw* (rotação sobre um eixo vertical) do objeto em relação a uma base. Compõe o sistema também pelo menos um atuador para efetuar *pitch* e *yaw* do objeto, isto é, efetuar pelo menos uma rotação do objeto sobre um pri-

¹ Resolver é um tipo de transformador elétrico giratório usado para medir graus de rotação.

meio eixo perpendicular ao eixo de orientação para formar um primeiro ângulo de rotação, e rodar o objeto sobre um segundo eixo perpendicular ao eixo de orientação e ao primeiro eixo, efetuando um segundo ângulo de rotação. Tem-se que, enquanto efetuar pelo menos um dos ângulos do objeto, este é simultaneamente rodado em torno do eixo de orientação a um ângulo de *roll* (rotação sobre um eixo horizontal) correspondente ao ângulo de *yaw*. [16]

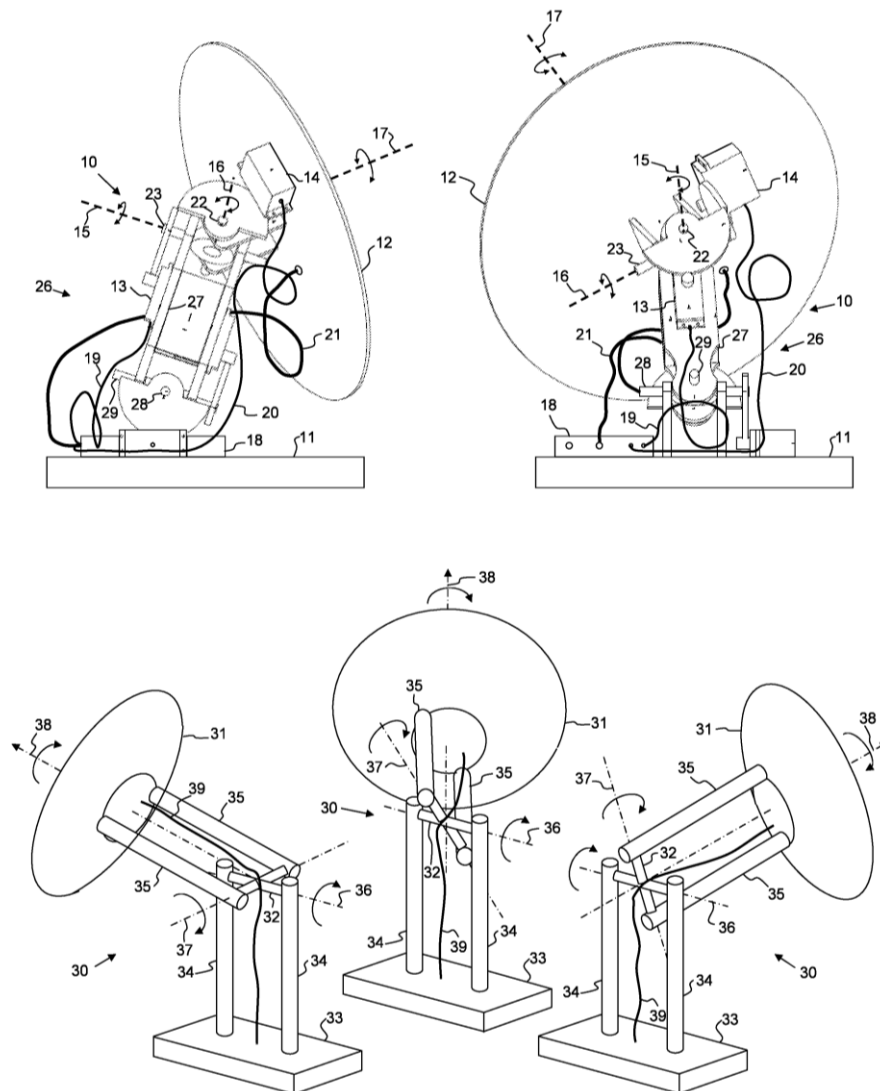


Figura 2.3 – Esquema referente à patente descrita em c). Adaptado de [16].

d) **Título da patente: Angle adjustment apparatus of dish antenna and dish antenna using the same**

Ano: 2013

Número da patente: **US8378919B2** ou **US20100177009**

Descrição: um dispositivo de ajuste de dois ângulos de elevação de uma antena o qual compreende uma base, uma primeira armação de rotação, uma segunda armação de rotação, e um segundo mecanismo de ajuste do ângulo de rotação. A primeira armação de rotação é fixada à base, e pode rodar relativamente ao seu redor, com um primeiro ângulo de rotação. A segunda armação de rotação está fixada para o primeiro quadro de rotação e pode rodar relativamente ao redor da primeira armação de rotação, com um segundo ângulo de rotação. O segundo mecanismo de ajuste do ângulo de rotação compreende uma primeira haste do parafuso, um parafuso com porca, e uma segunda haste do parafuso. Uma extremidade da primeira haste do parafuso é fixada no primeiro quadro de rotação, e a outra extremidade está equipada com a primeira rosca e engatada com o parafuso e porca. Uma extremidade do segundo parafuso de haste gira sobre a segunda armação de rotação, e a outra extremidade está equipada com a segunda rosca e engatada no parafuso e rosca. A primeira e a segunda roscas têm diferentes direções de parafuso, ou tem a mesma direção do parafuso, mas com diferente passo. [17]

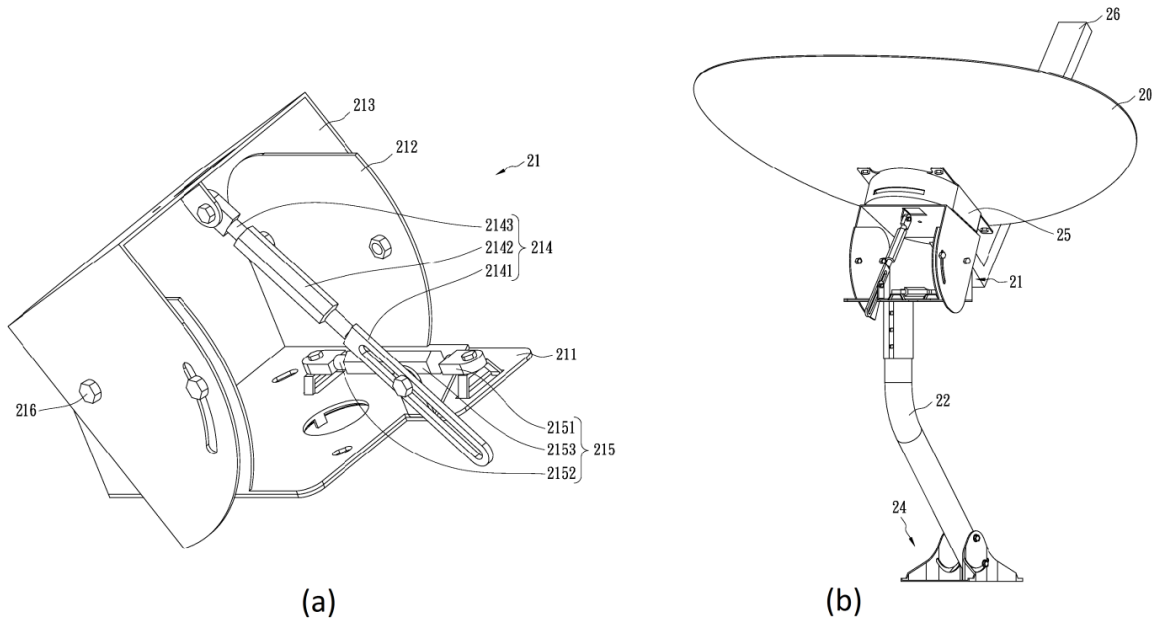


Figura 2.4 – (a) Mecanismo do ângulo de elevação superior, (b) os dois mecanismos. Adaptado de [17].

2.2 Modelagem de ventos

O principal distúrbio associado ao funcionamento de radares consiste no vento atuante nas parabólicas das antenas dos equipamentos. Gawronski [5] reúne em seu livro modelos analíticos construídos para estimar esforços relativos à ação do vento, assim como uma validação experimental de tais modelos. Desse modo, o autor demonstra a existência de modelos simples que correspondem satisfatoriamente no cálculo de torques e esforços axiais associados à ação do vento com base em sua velocidade.

A abordagem mais comum consiste em modelar a antena parabólica como uma placa circular com ângulos de inclinação em relação ao vento nos eixos de azimuth e elevação conforme a figura 2.5.

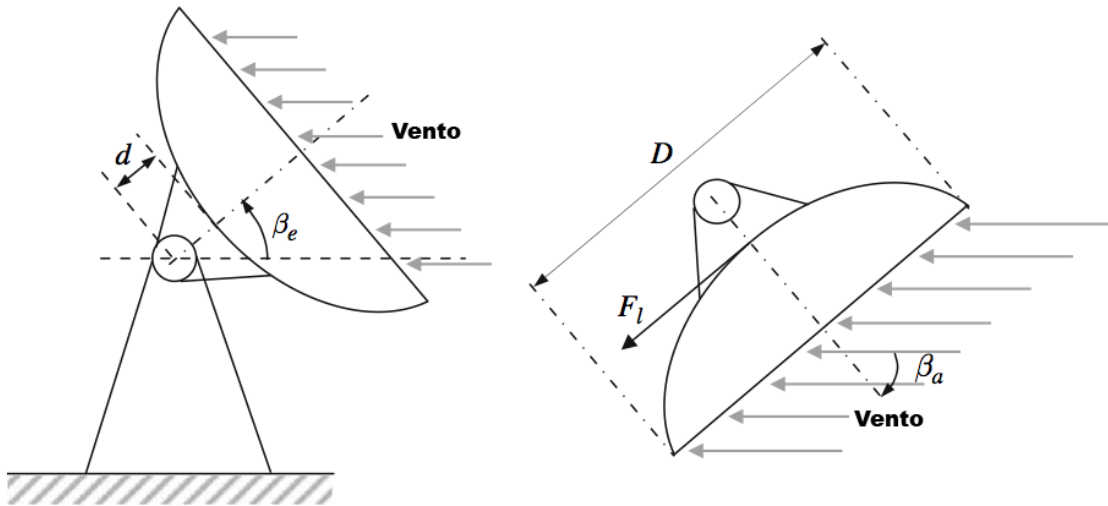


Figura 2.5 – Modelo de antena. Adaptado de [5]

Ao realizar a modelagem dessa forma geram-se adimensionais que relacionam torques e forças atuantes com parâmetros dimensionais das antenas conforme as equações 1 e 2, que representam adimensionais de torque e força respectivamente:

$$\tau_w = \frac{T_w}{\rho D A} \quad (1)$$

$$f_w = \frac{F_w}{\rho A} \quad (2)$$

onde T_w é o torque no eixo correspondente (Nm), F_w é o esforço no eixo correspondente (N), p é a pressão dinâmica do vento (N/m^2), D é o diâmetro da parabólica (m) e A é a área frontal da parabólica (m^2).

Os torques e forças atuantes são calculados com base nos adimensionais acima que resultam de experimentos com modelos em escala reduzida em túneis de vento. A partir dessa análise é possível obter resultados satisfatórios para o dimensionamento correto dos atuadores a serem utilizados no mecanismo [5].

A pressão dinâmica do vento pode ser obtida através do desenvolvimento da equação de Bernoulli como apresenta Armellini [1]:

$$p = \frac{v^2 \rho}{2} \quad (3)$$

onde ρ é a densidade do ar (Kg/m^3), e v é a velocidade de referência do vento (m/s).

Ao combinar as equações apresentadas anteriormente, obtêm-se novas equações que representam os torques e forças exercidas no mecanismo devido à ação do vento através dos coeficientes adimensionais, assim como parâmetros da antena e velocidade do vento. As equações 4 e 5 resultantes representam os esforços axiais e angulares respectivamente:

$$F_w = \frac{f_w \rho A}{2} v^2 = \alpha_f v_w^2 \quad (4)$$

$$T_w = \frac{\tau_w \rho D A}{2} v^2 = \alpha_{\tau w} v^2 \quad (5)$$

onde α_{f_w} é o coeficiente aerodinâmico relacionado a esforços axiais (Kg/m) e $\alpha_{\tau w}$ o coeficiente aerodinâmico relativo ao torques atuantes (Kg).

O caso de avaliação do projeto foi o de uma antena de refletor parabólico com 2 metros de diâmetro, que é considerada a configuração que sofre maiores esforços relativos à ação do vento. O memorando [6] apresenta resultados de testes em escala reduzida de antenas parabólicas no qual é estudado o modelo em escala 1:75 de uma antena de 34 metros de diâmetro. O estudo conduzido por Blaylock [6] tem o intuito de avaliar a influência da porosidade do refletor, esforços relacionados ao vento e alternativas de bases.

No estudo conduzido por Blaylock as forças axial e lateral, além do momento azimutal (*yaw*) foram máximas para uma elevação de 5 graus, já a força de levantamento e momento de elevação (*pitch*) máximos ocorreram entre 50 e 60 graus de elevação. O momento de

rolagem (*roll*) máximo da antena ocorreu aos 75 graus de ângulo de elevação. As figuras 2.6 e 2.7 apresentam a orientação dos esforços na antena.

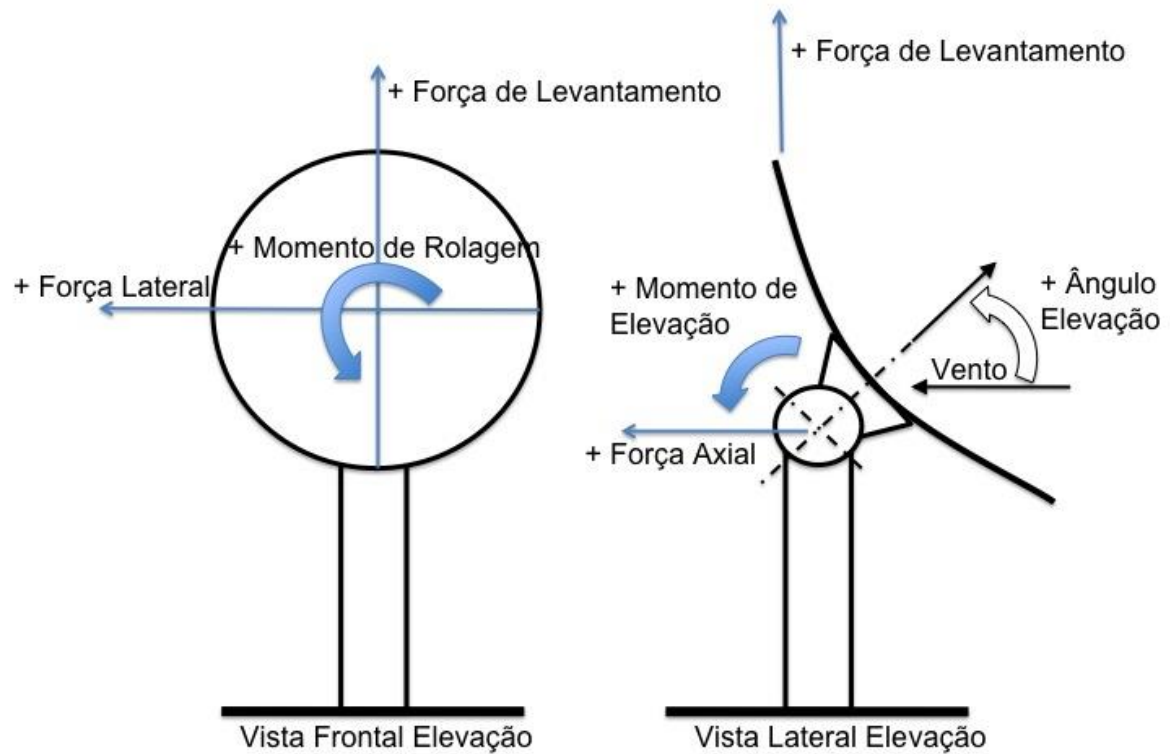


Figura 2.6 – Orientação de esforços da antena.

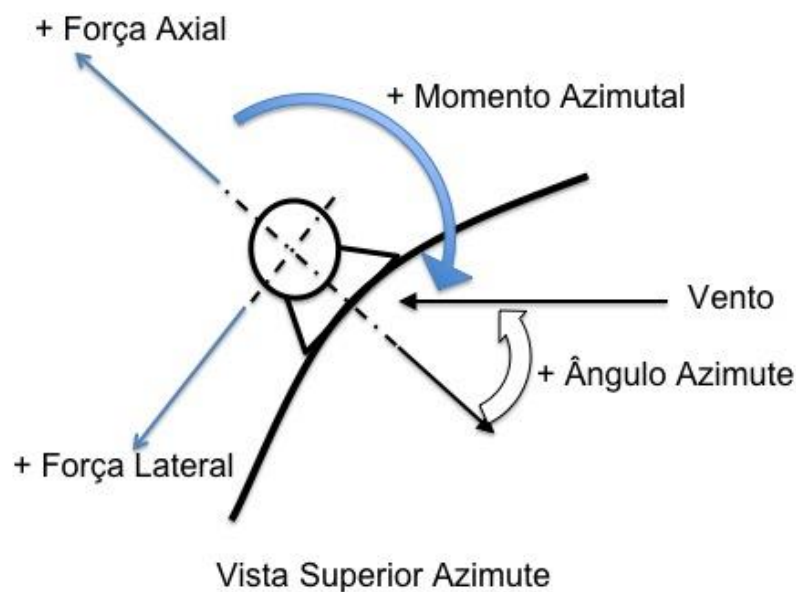


Figura 2.7 – Orientação de esforços da antena em azimute.

Gawronski demonstra em seu livro a correlação entre o modelo criado por Blaylock e dados experimentais de campo, validando o primeiro modelo com os dados experimentais de uma antena real de 34 metros instrumentada com um erro máximo de 13% [5]. Portanto, levantou-se os adimensionais máximos obtidos pelo experimento de Blaylock para análise dos coeficientes aerodinâmicos relativos aos esforços. A tabela 2-1 resume os esforços e coeficientes absolutos máximos para seus respectivos esforços.

Tabela 2-1 - Coeficientes Adimensionais de Esforços

Esforço	Módulo coeficiente
Força de levantamento	0.7
Força axial	1.3
Força lateral	0.45
Momento azimuthal	0.135
Momento de elevação	0.11
Momento de rolagem	0.08
Força de levantamento (sem porosidade)	1.05
Momento azimuthal (sem porosidade)	0.16
Momento de elevação (sem porosidade)	0.5

Os adimensionais máximos levantados são avaliados em detalhe na seção 3.3, na qual uma avaliação dos torques necessários nas ações de controle foi realizada para correto dimensionamento dos acionamentos do protótipo que foi desenvolvido.

2.3 Controle de posição para antenas

Como dito anteriormente, as técnicas de controle de posicionamento para antenas de radares é o assunto mais abordado atualmente. No caso de antenas os objetivos das técnicas de controle empregadas são:

- (i) Posicionar a antena de um ângulo com erro dentro de uma faixa de precisão;
- (ii) Filtrar ruídos de torque e posicionamento decorridos da ação do vento;
- (iii) Controlar a velocidade de varredura da antena.

As técnicas de controles que são aplicadas consistem em controladores PID clássicos [1] [4] [5] [7] [8], lógica *Fuzzy* com controladores PID [10], controle a partir de um modelo geométrico preciso [11], reguladores lineares quadráticos [5] [7] [8] [9] e H infinito [5] [8].

Em [5] e [8] tem-se uma comparação entre os tipos de controles utilizados para o posicionamento de antenas. Em [7] é feita uma análise, para dois tipos de controle, da relação entre o erro de posicionamento, parâmetros (de performance) e também entre os próprios parâmetros: tempo de assentamento, largura de banda e desvio padrão do erro.

2.4 Trabalhos relevantes e correlatos

Dentre toda bibliografia consultada, as referências encontradas mais interessantes, abrangentes e relacionadas ao projeto de Trabalho de Formatura proposto foram [1], [4], [5] e [9].

Em [5], um livro que possui extenso material sobre o tema de modelagem e controle de antenas, são apresentados de maneira sistemática anos de pesquisa e publicações realizados pelo autor, Wodek Gawronski, compilando assim diversas técnicas, modelagem de sistemas e observações práticas relacionadas aos sistemas de apontamento. Dividido em dois blocos principais, expõe técnicas de modelagem dos sistemas em primeiro momento, seguido de técnicas de controle que são implementadas de maneira eficiente para atender requisitos de posicionamento cada vez mais rigorosos. A influência de parâmetros como incertezas modeladas, ação do vento e não linearidades são apresentadas em conjunto com indicações de boas práticas a serem seguidas.

Didático e preciso, o livro apresenta de maneira acessível os procedimentos necessários para que cada um seja reproduzido ou aplicado em diversos casos. É uma referência que trata de maneira unificada os principais problemas para sistemas de posicionamento, apresentando a correlação de soluções analíticas particulares e modelos simplificados de engenharia de maneira consistente. O autor consegue em um único livro abordar a modelagem de sistemas de posicionamento de telescópios e antenas, redução de ordem dos modelos obtidos, controle dos sistemas modelado e boas práticas, o que o consolida como uma das referências técnicas mais completas sobre o tema.

Apesar do artigo [4] não ser diretamente relacionado ao controle do posicionamento de antenas, pois seu tema central são telescópios e ter seções direcionadas à sistemas próprios destes (óptica), os subsistemas mecânico e de controle de um telescópio e de um radar são equivalentes. O artigo “Telescópios como sistemas mecatrônicos” aborda todos os aspectos do projeto de um telescópio e inicia salientando que não somente a óptica é essencial para um telescópio, mas também seus subsistemas mecânico e de controle.

No que tange ao sistema mecânico, o artigo fornece um roteiro para seu *design*, listando os componentes necessários de acordo com o tamanho do telescópio. Já em relação ao subsistema de controle é sugerido um controle padrão (PID) em cascata, sendo este robusto e estável; menciona-se também um controle mais sofisticado através de LQG. Entra-se também no escopo dos sensores que podem ser utilizados, dependendo da aplicação e especificação do telescópio. O autor sugere fortemente o uso de simulações de todos os componentes em cada fase do projeto.

As sugestões feitas para o desenvolvimento dos sistemas mecatrônicos no artigo podem ser transferidas para o projeto de tais sistemas de um dispositivo posicionador de radar. O artigo traz recomendações básicas que foram utilizadas para os projetos mecânico e de controle.

A referência [1] é uma dissertação de mestrado que apresenta o projeto completo de um radar meteorológico. É feita uma revisão sobre radares, suas utilidades, e opções construtivas de sistemas de posicionamento, estudando os pontos críticos dos tipos de projeto. Apresenta de maneira sistemática os procedimentos que o autor utiliza para modelar e projetar o controle de uma antena de radar meteorológico e o projeto de hardware já havia sido criado anteriormente. A modelagem apresentada na dissertação é utilizada para o projeto de controle do radar utilizando um controlador PID. O estudo de caso apresentado é referente ao produto final concebido e construído em parceria com uma empresa em Mogi das Cruzes, São Paulo.

O mecanismo para posicionamento adotado por Armellini em [1] consiste em um motor com redução para cada eixo (azimute e elevação) e uma segunda redução através de um par coroa-pinhão conectado diretamente ao eixo de giro. Ainda existe um sistema para eliminação de folgas através de duas engrenagens ligadas por uma mola torcional, suprimindo o *backlash*².

² Folga típica na construção de engrenagens de dentes retos.

O controle é feito por um PID clássico e o projeto foi dimensionado para suportar rajadas de vento com velocidade máxima de 28 m/s e torque máximo de 1590 Nm. Os resultados obtidos pelo autor mostraram-se satisfatórios atingindo uma precisão de aproximadamente 0,1°, velocidade máxima de varredura de 36°/s, intervalos de elevação de -1° a 90,5° e de azimute de 0° a 360°.

O artigo [9] aborda a aplicação de uma técnica de controle robusto em um sistema de posicionamento do eixo azimute de um radar meteorológico. Os autores utilizam a técnica descrita no texto devido às incertezas paramétricas relacionadas ao modelo a ser controlado, que podem chegar a desvios de 50% entre os valores estimados e a planta real. No decorrer do texto são expostos os diversos graus de liberdade que são adicionados ao sistema ao considerar a elasticidade de seus elementos, que em alguns casos podem ser considerados estruturas flexíveis, assim como distúrbios de posicionamento associados a torques externos atuantes no sistema. Foi desenvolvido um controlador LQ mapeado para uma estrutura PID que atingiu o desempenho de tempo de assentamento menor que dois segundos com “esforço de controle viável”. O controlador foi desenvolvido para o sistema projetado na dissertação [1].

2.5 Notas sobre normas técnicas e legislação

É extremamente recomendável o uso de normas técnicas em qualquer projeto de Engenharia. Porém, para o sistema de posicionamento para um radar não existe nenhuma norma específica. Logo, seguem-se as boas práticas recomendadas na literatura relacionada.

Por outro lado, o sistema de radar inteiro, considerando-se principalmente a antena, deve seguir a legislação brasileira quanto a: 1) faixa de operação de frequência (transmissão e recepção) [18]; 2) licitação para funcionamento e instalações de estações de observação (como é classificado um radar meteorológico) [18]; 3) seguir regulamentação para Certificação de Equipamentos de Telecomunicações quanto aos Aspectos de Segurança Elétrica [19]; e, 4) pedido e pagamento da autorização para Serviço Limitado Privado, isto é,

Um serviço de telecomunicações, de interesse restrito, no regime privado, que abrange múltiplas aplicações, dentre elas, comunicação de dados, de sinais de vídeo e áudio, de voz e de texto, bem como captação e transmissão de dados científicos relacionados à Exploração da Terra por

Satélite, Auxílio à Meteorologia, Meteorologia por Satélite e Pesquisa Espacial, destinado ao uso do próprio executante ou prestado a grupos determinados de usuários. [20]

Por exemplo, a resolução de [18] afirma: “A instalação que possa causar acidentes ou danos às pessoas, deve ser efetuada de forma a evitar a proximidade ou o contato de pessoas leigas ou não autorizadas e conter, também, dispositivos de advertência claramente visíveis”.

Já a resolução de [19] lista algumas condutas que devem ser observadas:

- Seguir a norma ABNT NBR-5410 (2004) - Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- Proteção Contra Risco de Incêndio;
- Proteção Contra Choque Elétrico;
- Proteção Contra Aquecimento Excessivo;
- Equipamentos com carcaça metálica deverão dispor de condutor terra de proteção e do respectivo plugue de três pinos e deverão portar informação escrita, em local visível ao usuário, contendo os seguintes dizeres: “Este equipamento deve ser conectado obrigatoriamente em tomada de rede de energia elétrica que possua aterramento (três pinos), conforme a Norma NBR ABNT 5410, visando a segurança dos usuários contra choques elétricos”.

Durante o projeto, estas normas e resoluções foram consideradas.

3. PROJETO BÁSICO

3.1 Requisitos

Os requisitos de projeto de posicionamento de radares passivos não são tão restritivos quanto de outros tipos de radares (como do tipo astronômico, por exemplo), no entanto, buscou-se fazer um sistema robusto, com uma precisão de posicionamento mais perto das soluções comerciais (0,1°). Alguns dos requisitos de projeto levantados em conjunto com o IAG-USP são mostrados na tabela 3-1.

Tabela 3-1 - Requisitos de Projeto

Requisitos	Mínimos	Desejáveis
Precisão de posicionamento	1 grau	0.1 grau
Intervalo de elevação	-2 a 90 graus	-
Intervalo Azimute	0 a 360 graus	-
Velocidade de operação	1 graus/seg	-
Portabilidade	Estático em base	Intercambiável entre bases
Flexibilidade (intercambiabilidade entre antenas)	Diâmetro de antena de: 60 cm a 2 m	Além dos mínimos, flexibilidade para utilização de mais de uma antena
Reuso de estrutura existente	Nenhum	A base já instalada
Embarcabilidade	Drivers embarcados	Solução totalmente embarcada com plataforma livre e comunicação ethernet
Preço	+/- R\$ 10.000,00	-

Consideraram-se também os tipos de varreduras que seriam feitos e pré-programados. (Ver seção 3.6).

3.2 Primeira abordagem



Figura 3.1 – Antena de diâmetro de 60 cm.

Logo após uma primeira revisão bibliográfica e alguns requisitos já definidos foi feito um *brainstorming* de ideias de modo a se obter várias soluções para todos os segmentos do projeto. Parte do material gerado é apresentado na tabela 3-2. A figura 3.1 mostra o foco principal do projeto: o sistema de posicionamento de uma antena com 60 cm de diâmetro.

Tabela 3-2

Estrutura Mecânica	•Formato da estrutura: –Pré-decidiado: Elevação sobre Azimute •Formato do suporte: –Bandeja multifuncional feita de perfis simples (vide radiômetro RPG) •Mecanismo de giro do Azimute •Mecanismo de elevação: –Elevação no próprio eixo de giro –Elevação por parafuso sem fim
Controle de posição da estrutura	•Controlar com os requisitos de projeto: –Erro de posicionamento < 0.1 graus –Velocidade ajustável até $Y \times 1$ grau/seg •Malha de controle: –Controle de corrente de motor –Controle de Velocidade –Controle de Posição

	•Técnicas de controle que serão empregadas
Sistema de sensoriamento de posição	•Referência absoluta –Bússola digital –Sensor de nível •Referências incrementais –Encoders •Outras opções encoders absoluto: –Elevação encoder absoluto, bússola e nível no azimute com compensação de nível para a bússola
Sistema de sensoriamento de Distorções	•Monitoramento de Temperatura –Modelo térmico da estrutura –Avaliar pontos críticos a serem instrumentados –Avaliar mecanismos de minimização de efeitos •Monitoramento de vento –Avaliar pontos críticos de pressão através de simulação –Avaliar pontos críticos de deformação –Instrumentar locais avaliados –Realizar medidas de controle das distorções
Monitoramento de distorções	•Objetivos: –Utilizar de boas práticas de projeto, para não ser necessário utilizar mecanismos de compensação e controle, no entanto, monitorar esses parâmetros de distorção para avaliação. •Atividades –Avaliar influência de temperatura e características do projeto. –Avaliar influência do vento no projeto.
Hardware	O hardware a ser implementado deve permitir um acesso via Ethernet ou rede Wireless para facilitar a operação da antena de um local remoto. <pre> graph TD Ethernet <--> Arduino Arduino <--> PIC[PIC e placa de Aquisição de sinais de sensoriamento] Arduino <--> Monitor[Placa de Monitoramento de Distorções] PIC --> Drivers[Placas de Drivers de Motores] </pre>
Sistema de Processamento e comando	•Monitoramento de Temperatura –Modelo térmico da estrutura –Avaliar pontos críticos a serem instrumentados –Avaliar mecanismos de minimização de efeitos •Monitoramento de vento –Avaliar pontos críticos de pressão através de simulação –Avaliar pontos críticos de deformação

	-Instrumentar locais avaliados -Realizar medidas de controle das distorções •Interface com PC
--	---

Conjuntamente ao aprofundamento da revisão bibliográfica e maior conhecimento sobre o problema, as alternativas mais satisfatórias foram sendo definidas a partir das ideias da tabela 3-2.

3.3 Análise de esforços estruturais ocasionados pelo vento

O IAG-USP possui o histórico da velocidade de ventos de diversos períodos. Os dados de velocidade de vento podem ser acessados através do endereço eletrônico do Laboratório de Micrometeorologia do instituto [21]. Os dados foram observados em gráficos de velocidade do vento em função dos dias do ano, um exemplo de gráfico disponibilizado pode ser observado na figura 3.2.

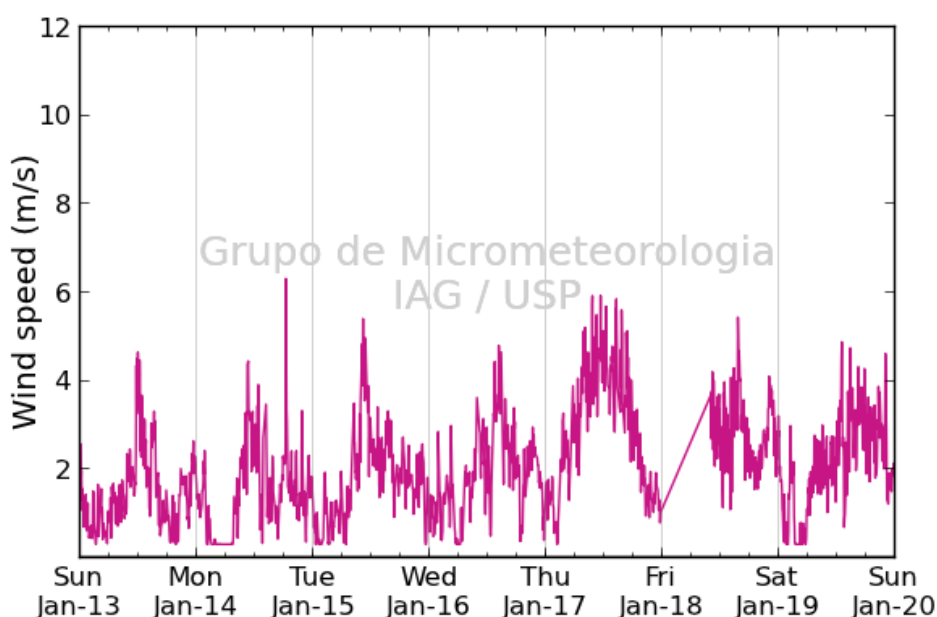


Figura 3.2 - Exemplo de gráfico disponibilizado. Reproduzido de [22]

Na avaliação da velocidade máxima a ser enfrentada pelo mecanismo posicionador foram observados os gráficos de velocidade do vento dos últimos três anos. Os dados são coletados por uma estação meteorológica que está localizada em cima do prédio do Instituto, ou seja, no próprio local de instalação do mecanismo projetado.

Na análise realizada os gráficos apresentam valores máximos de cerca de 10 m/s, e valores médios de 3,5 m/s. Os valores máximos são caracterizados por picos esporádicos, e que serão adotados como limite superior para operação do posicionador, pois cobrem a maior parte de velocidades do vento quando o mecanismo estiver em operação.

Os esforços podem ser calculados através das equações 4 e 5 para a velocidade máxima do vento adotada (10 m/s) com uma antena parabólica de 2 metros. No entanto, quando instalada uma antena de diâmetro diferente, os gráficos 3.1 e 3.2 podem ser utilizados para avaliar de maneira mais direta a velocidade máxima do vento que o dispositivo poderá suportar em operação, assim como possíveis mudanças na configuração da velocidade de varredura do dispositivo.

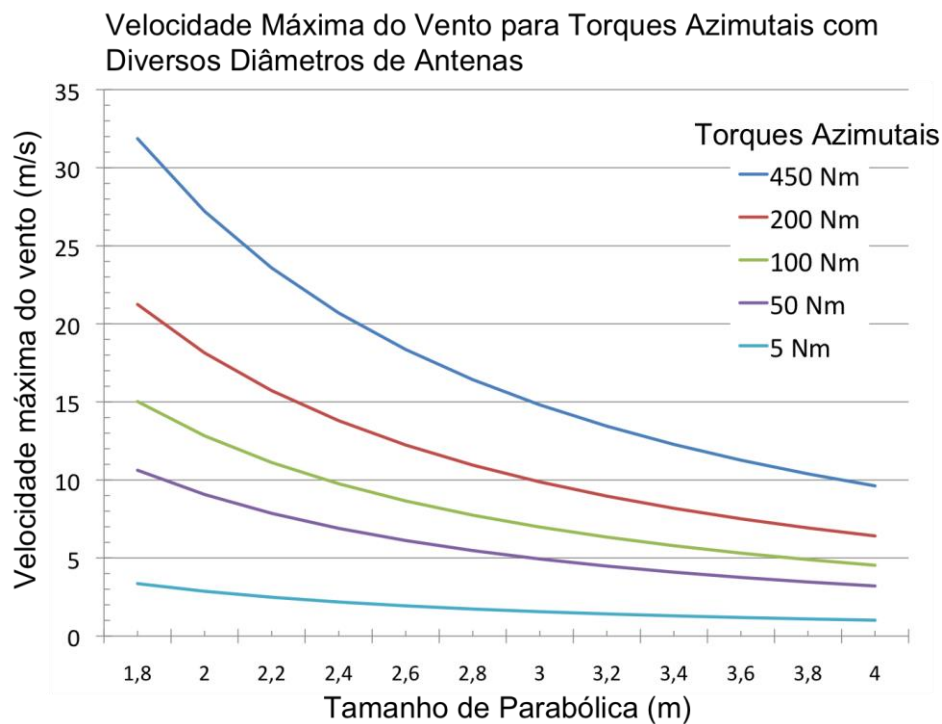


Gráfico 3.1 - Velocidade máxima do vento para diversos diâmetros de antena com relação ao torque azimutal constante induzido pelo vento

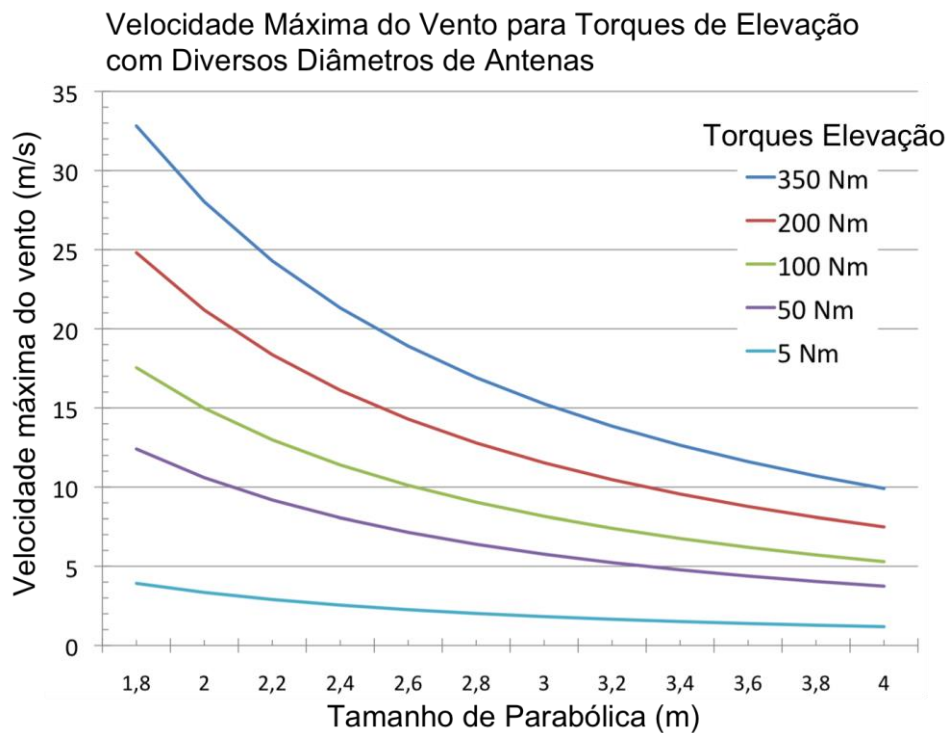


Gráfico 3.2 – Velocidade máxima do vento para diversos diâmetros de antena com relação ao torque de elevação constante induzido pelo vento

De modo a facilitar a interpretação dos coeficientes aerodinâmicos e dimensionar os torques dos motores do dispositivo em função dos distúrbios de torque relacionados à ação do vento, criou-se os gráficos 3.1 e 3.2 com linhas de torque constante e sua relação com o diâmetro da antena a ser instalada. As curvas de torques constantes passam pelos pontos de velocidade máxima do vento para operação do mecanismo avaliando os diversos tamanhos de parabólicas que podem ser acopladas ao mecanismo.

Para avaliar os esforços reativos na estrutura e dimensionar mecanicamente a mesma para suportar os efeitos do vento atuante e acionamentos necessários, foram calculados os diversos esforços relativos à operação da antena de 2 metros para uma velocidade máxima de operação de 10 m/s. A tabela 3-3 demonstra o resultado de tais cálculos para fins de dimensionamento do projeto do dispositivo com antenas de diâmetros máximo de 2 metros.

Tabela 3-3 - Cálculo de Esforços para Antenas de 2 metros

Esforço	Esforços Associados (2 metros)
Força de levantamento	140 N
Força axial	260 N
Força lateral	90 N
Momento Azimutal	55 Nm
Momento de Elevação	45 Nm
Momento de Rolagem	35 Nm
Força de levantamento (sem porosidade)	220 N
Momento Azimutal (sem porosidade)	65 Nm
Momento de Elevação (sem porosidade)	200 Nm

De acordo com a tabela 3-3 podemos observar que o máximo torque que será exercido pelo vento na antena será de 200 Nm no eixo de elevação na configuração de refletor de dois metros sem porosidade.

As rajadas de vento não são o único esforço exercido sobre o eixo de azimuth pois é preciso considerar também o torque necessário para vencer a inércia e fazer todo o sistema superior girar. Estimou-se esse torque, em uma análise simplificada, considerando duas massas pontuais (a antena e o contrapeso) a certa distância do eixo de giro de azimuth. O valor encontrado do torque mínimo a ser exercido para uma aceleração mínima de 0,26 rad/s [1] foi de 6 Nm. O atrito também pode ser considerado desprezível no mancal de rolamento axial.

Adotou-se o torque de 300 Nm na escolha dos motores utilizados no dispositivo, possuindo desse modo uma folga de operação de 50% (100 Nm), em relação ao torque máximo.

3.4 Hardware do dispositivo

O hardware do dispositivo foi composto por módulos que poderão ser alterados para atualização do sistema, facilitando assim a manutenção do dispositivo.

De modo a atender o requisito de embarcabilidade do dispositivo, foi incorporado ao posicionador todo *hardware* necessário para que ele opere utilizando apenas seu cabo de alimentação. O posicionador é operado remotamente por meio de uma interface homem-máquina, que é executada em um segundo computador, conectado ao dispositivo por meio de uma rede sem fio. Dentro do dispositivo estão presentes *drivers* de acionamento de motores, microcontrolador embarcado, sensores para posicionamento, monitoramento de temperatura e umidade relativa.

O sistema elétrico do equipamento contempla a alimentação de todo *hardware*, além da possibilidade de fornecer a alimentação necessária para equipamentos auxiliares acoplados ao dispositivo, os quais serão responsáveis pela aquisição dos dados meteorológicos.

Os acionamentos escolhidos permitem que o posicionador realize os volumes meteorológicos de interesse, ou seja, caracterize determinada faixa atmosférica. A solução desenvolvida possui flexibilidade na execução das varreduras e assegura o posicionamento do dispositivo em qualquer configuração desejada.

3.4.1 Acionamentos

Os requisitos de velocidade de operação de 1 grau/segundo e precisão de posicionamento de 1 grau apresentados na tabela 3-1 em conjunto com o torque de operação máximo estimado de 200 Nm anteriormente apresentados na seção 3.3 indicam a necessidade do uso de acionamentos que forneçam altos torques com velocidades de operação reduzidas. Algumas alternativas para o acionamento foram estudadas:

- Motores DC: Os motores DC foram amplamente utilizados nos radares construídos até a década de 90, após esse período optou-se pelo uso de motores DC *brushless* devido às vantagens relacionadas à manutenção de operação e economia energética. Essa categoria de motores é indicada para uso em equipamento que exigem re-

quisitos altos de torque e velocidades de operação, sendo utilizado extensamente em radares como apresentado por Armellini [1].

- Motores de Passo: apesar de possuírem relação torque/peso menores quando comparados com outros motores, com a aplicação de um redutor adequado e requisitos de velocidades menores, podem ser utilizados de maneira satisfatória para tarefas de posicionamento com relações maiores de torque/velocidade.

A comparação dos motores para o projeto foi realizada de acordo com os principais requisitos para os acionamentos do posicionador:

- ✓ **Critério A)** Capacidade de alcançar torque de 300 Nm com velocidades compatíveis de operação.
- ✓ **Critério B)** Complexidade de acionamento e controle.
- ✓ **Critério C)** Custo da solução e dispositivos auxiliares.

Critério A) Capacidade de alcançar torque de 300 Nm com velocidades compatíveis de operação

- Motor DC: O motor possui facilidade para operar nos torques de 300 Nm com as velocidades reduzidas.
- Motor de Passo: O motor consegue alcançar o torque proposto com a redução adequada, no entanto as velocidades de operação são limitadas. Ao analisar um motor de passo modelo Flange NEMA 34 com torque de 15 kgf.cm e utilizando uma redução associada de 100:1, pode-se alcançar velocidades de até 25 graus/segundo no eixo de azimute, velocidade já bem superior a de especificação de operação.

Critério B) Complexidade de acionamento e controle

- Motor DC: O motor necessita de hardware específico para realimentação da corrente nos enrolamentos e é importante a existência de um circuito limitador de corrente para proteção do mesmo, permitindo desse modo o correto controle de trajetória. Além dessa estrutura auxiliar devem ser utilizados *drivers* específicos para o correto acionamento dos motores e *encoders* para realimentação de posição.

- Motor de Passo: O motor de passo possui corrente fixa nos enrolamentos, sendo o sensoriamento para o controle realizado com o auxílio de um *encoder* acoplado ao motor, assim como no motor DC. O acionamento é realizado por pulsos temporizados, acelerando o motor e controlando sua velocidade. Nesse caso específico os *drivers* são mais simples pois não existe a necessidade do uso de micropasso em seu acionamento, pode-se então trabalhar com a configuração *half-step* do motor, ou seja, 400 pulsos por volta, ou mesmo *full-step*, 200 pulsos por volta.

Critério C) Custo da solução e dispositivos auxiliares

- Motor DC: O custo da solução está associado a um circuito auxiliar de *hardware* para leitura de sinais analógicos, o custo do *driver* de acionamento de motores DC e o motor em si.
- Motor de Passo: O custo da solução com motores de passo está associado ao *driver* de acionamento e ao custo do motor.

A análise de soluções foi realizada com o auxílio das matrizes de decisão apresentadas nas tabelas 3-4 e 3-5. A solução escolhida para o projeto foi o motor de passo e seu respectivo *driver* de acionamento.

Tabela 3-4

Critério		1	2	3	Total	Peso normalizado
A	1		2	2	4	0,5
B	2	1		2	3	0,3
C	3	1	1		2	0,2

9

1

Tabela 3-5

Critério	Peso	Motor DC	Motor de passo
A	0,5	5	5
B	0,3	4	5
C	0,2	3	3
Total:		4,3	4,6

3.4.2 Sensoriamento, Monitoramento e Controle

O sistema de sensoriamento do dispositivo é suficiente para a execução do controle de trajetória e posicionando o mesmo com uma precisão igual ou inferior ao requisito de projeto. A análise do sistema de sensoriamento de posição indicou a necessidade de *encoders* para realimentação de posição de modo que os distúrbios externos associados a ação do vento fossem compensados. O posicionador atua em malha aberta (acionamento com motores de passo) e tem sua posição sensoriada pelos *encoders*. São realizadas realimentações de posição e velocidade ao usuário, caracterizando dessa forma todo o dispositivo (posição e velocidade). O usuário pode intervir em caso de esforço de vento excessivo, esforço incompatível, e tais informações podem ser utilizadas na correção dos parâmetros de varredura, ou posicionamento.

O monitoramento do status interno do dispositivo também foi crucial. A caracterização térmica do dispositivo e seu comportamento de umidade relativa interna são cruciais, visto que o posicionador ficará exposto às intempéries e o levantamento de tais informações é útil para garantir a integridade do aparelho caso ocorra alguma falha térmica ou de vedação.

3.4.2.1 Microcontrolador embarcado

Para realizar o controle do dispositivo, executar seu monitoramento, e possibilitar a comunicação com computadores externos será empregado um computador miniaturizado, mais conhecido como *Single Board Computer* (SBC). Esses dispositivos possuem as funcionalidades de computadores com estruturas de *hardware* reduzidas, no entanto, possuem co-

nectividade similar a computadores (USB, serial, Ethernet). Um esquema da arquitetura desenvolvida pode ser observado na figura 3.3:

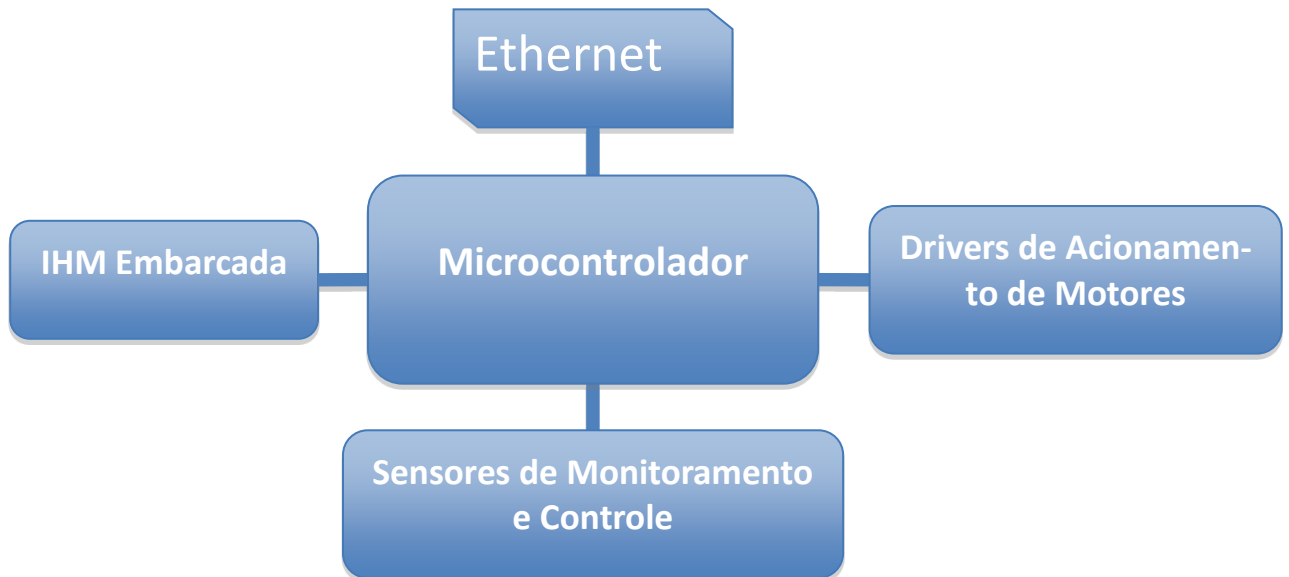


Figura 3.3 – Arquitetura de Sensoriamento, Controle e Monitoramento

Os sistemas de *drivers* de acionamento foram definidos na seção 3.4.1, sendo necessária a definição de uma arquitetura de microcontrolador para interagir com tais escolhas. Outro ponto do estudo foi a facilidade de adaptação de soluções existentes de sensoriamento de posição de motor, temperatura e umidade.

Algumas alternativas para a plataforma desenvolvida foram levantadas:

- BeagleBone: Plataforma embarcada para prototipagem em alto nível com processador de arquitetura ARM e *clock* de 720 MHz. Possui processador de vídeo integrado e memória RAM de 512Kb.
- Raspberry Pi: Plataforma computacional embarcada que roda sistemas operacionais como Linux e otimizado para programação com linguagem Python. Lançado no mercado de microcomputadores para estimular a programação em escolas primárias e por esse motivo possui o custo de 35\$. Possui saídas de áudio e vídeo integradas, ethernet e USB.

Para comparação dos *SBC* para o projeto foram levantados os principais requisitos:

- ✓ **Critério A)** Rodar sistema operacional embarcado: capacidade do *SBC* de rodar um sistema operacional embarcado tais como Linux e Windows RT.

- ✓ **Critério B)** Entrada ethernet nativa: o dispositivo deve possuir porta ethernet embutida em seu hardware.
- ✓ **Critério C)** Saída de vídeo nativa: é desejável o dispositivo possuir saída de vídeo integrada ao seu hardware.
- ✓ **Critério D)** Possuir entradas USB
- ✓ **Critério E)** Quantidade de GPIO compatíveis com o projeto: o número de entradas e saídas GPIO deve ser compatível com o número estimado de uso no projeto.
- ✓ **Critério F)** Custo final da solução

Critério A) Rodar sistema operacional embarcado

- BeagleBone: Possui capacidade de rodar sistemas operacionais como Android e Ubuntu.
- Raspberry Pi: Possui suporte para rodar diversas distribuições de Linux.

Critério B) Entrada ethernet nativa

- BeagleBone: Ethernet embarcada existente na placa.
- Raspberry Pi: Ethernet embarcada existente na placa.

Critério C) Saída de vídeo nativa

- BeagleBone: possui suporte a processamento de vídeo, no entanto são necessárias placas de expansão HDMI, VGA ou LCD para uma interface de vídeo.
- Raspberry Pi: possui suporte direto para saída HDMI, via composite ou (PAL ou NTSC) ou Raw LCD (DSI).

Critério D) Possuir entradas USB

- BeagleBone: possui uma entrada.
- Raspberry Pi: possui duas entradas.

Critério E) Quantidade de GPIO compatíveis com o projeto

- BeagleBone: Possui 66 GPIO e 7 ADCs.
- Raspberry Pi: Possui 21 GPIO.

Critério F) Custo final da solução

- BeagleBone: O custo do BeagleBone chega a 630,00 reais no Brasil.
- Raspberry Pi: O custo do Raspberry Pi chega a 250,00 reais no Brasil.

A análise de soluções foi feita através de uma matriz de decisão apresentadas nas tabelas 3-6 e 3-7. A solução escolhida foi o *SBC Raspberry Pi*.

Tabela 3-6

Critério		1	2	3	4	5	6	Total	Peso normalizado
A	1		2	2	2	1	1	8	0,17777778
B	2	1		2	2	1	1	7	0,15555556
C	3	1	1		1	1	1	5	0,11111111
D	4	1	1	2		1	1	6	0,13333333
E	5	2	2	2	2		1	9	0,2
F	6	2	2	2	2	2		10	0,22222222
								45	1

Tabela 3-7

Critério	Peso	Beaglebone	Raspberry
A	0,17778	5	5
B	0,15556	5	5
C	0,11111	2	5
D	0,13333	3	5
E	0,2	5	4
F	0,22222	2	5
Total	1	3,7333333	4,8

3.4.2.2 Sensoriamento e Monitoramento

O sistema de sensoriamento e monitoramento consistiu em 4 tipos de sensores:

- **Encoder de Posição:** sensor utilizado nos eixos movidos pelos motores que permitirão o sensoriamento de posição do dispositivo. Esses *encoders* geram dois sinais digitais (CHA e CHB) para o microcontrolador que estime a mudança de estado de posição do dispositivo.
- **Sensor óptico de zero:** sensores instalados ao longo dos eixos de movimentação para determinar um posição de referência absoluta zero. Os *encoders* instalados atuam então em modo incremental de maneira satisfatória. O sensor gera sinais digitais relativos a localização de um esbarro no sensor (SW_EL ou SW_AZ).
- **Sensor de temperatura e umidade:** sensor com de comunicação *one-wire* que mede temperatura e umidade. Esse sensor foi utilizado no monitoramento do estado do dis-

positivo, indicando possíveis problemas de operação, fornecendo os dados adquiridos pelo canal de comunicação T_U_COM.

- **Sensor de Navegação GPS:** o sensor GPS de interface serial é utilizado para sincronização da posição do dispositivo (orientação no espaço) e os dados obtidos por sensores externos através do registro de data/hora e histórico de posição. O canal de comunicação é o GPS_COM.

A ligação de todos componentes e sinais lógicos do projeto de *hardware* podem ser observadas na figura 3.4.

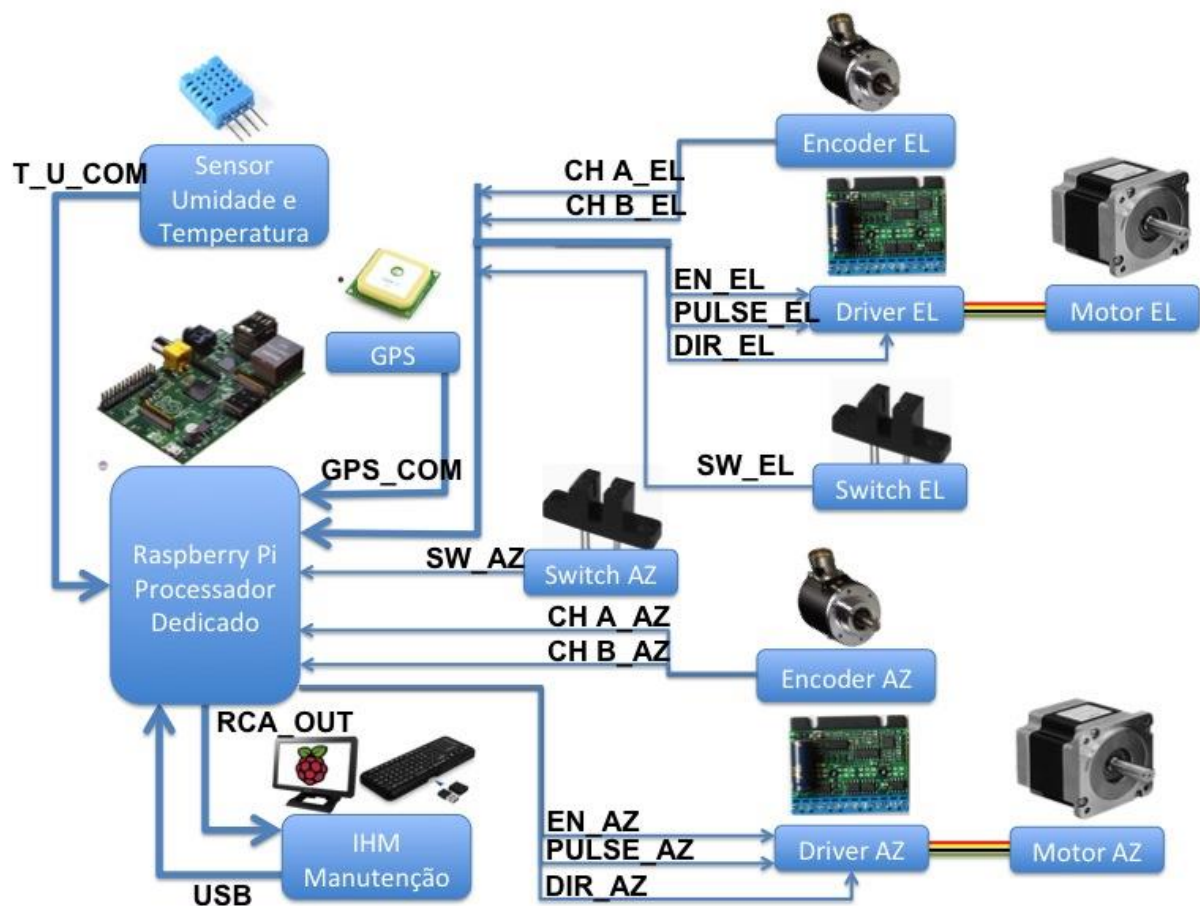


Figura 3.4 – Esquema de ligações eletrônicas do hardware

3.4.2.3 Sistema elétrico

O sistema elétrico consiste de um sistema de distribuição de energia, assim como chaves de fim de curso para proteção do dispositivo. Nesse contexto é importante que o sistema tenha 3 estágios de tensão de alimentação:

- Tensão de Rede de Alimentação: Tensão de 110/220 V alternada para fontes internas de menor tensão, assim como alimentação de tomadas auxiliares para instalação de equipamentos de sensoramento meteorológico instalados no posicionador.
- Tensão de Alimentação de Motores: Fonte exclusiva de alimentação dos motores do dispositivo com tensão de 24 V, derivada da rede de alimentação do dispositivo.
- Tensão de Alimentação de Dispositivos de Controle: Fonte exclusiva de 5 V para alimentação de dispositivos auxiliares de controle tais como: Microcontrolador, sensores, e interfaces homem-máquina.

Além do sistema de distribuição de energia foi necessário o uso de dispositivos de proteção contra sobrecarga e chaves de proteção de fim de curso, que ao serem acionadas desligam a alimentação do motor do eixo em questão.

A proteção contra sobrecarga está embutida na no painel de comando do dispositivo em um porta fusível. As chaves de fim de cursos do eixos tem ligação direta com a alimentação 24V do *driver* de acionamento do seu motor correspondente.

O esquemático das conexões elétricas pode ser observado na figura 3.5.

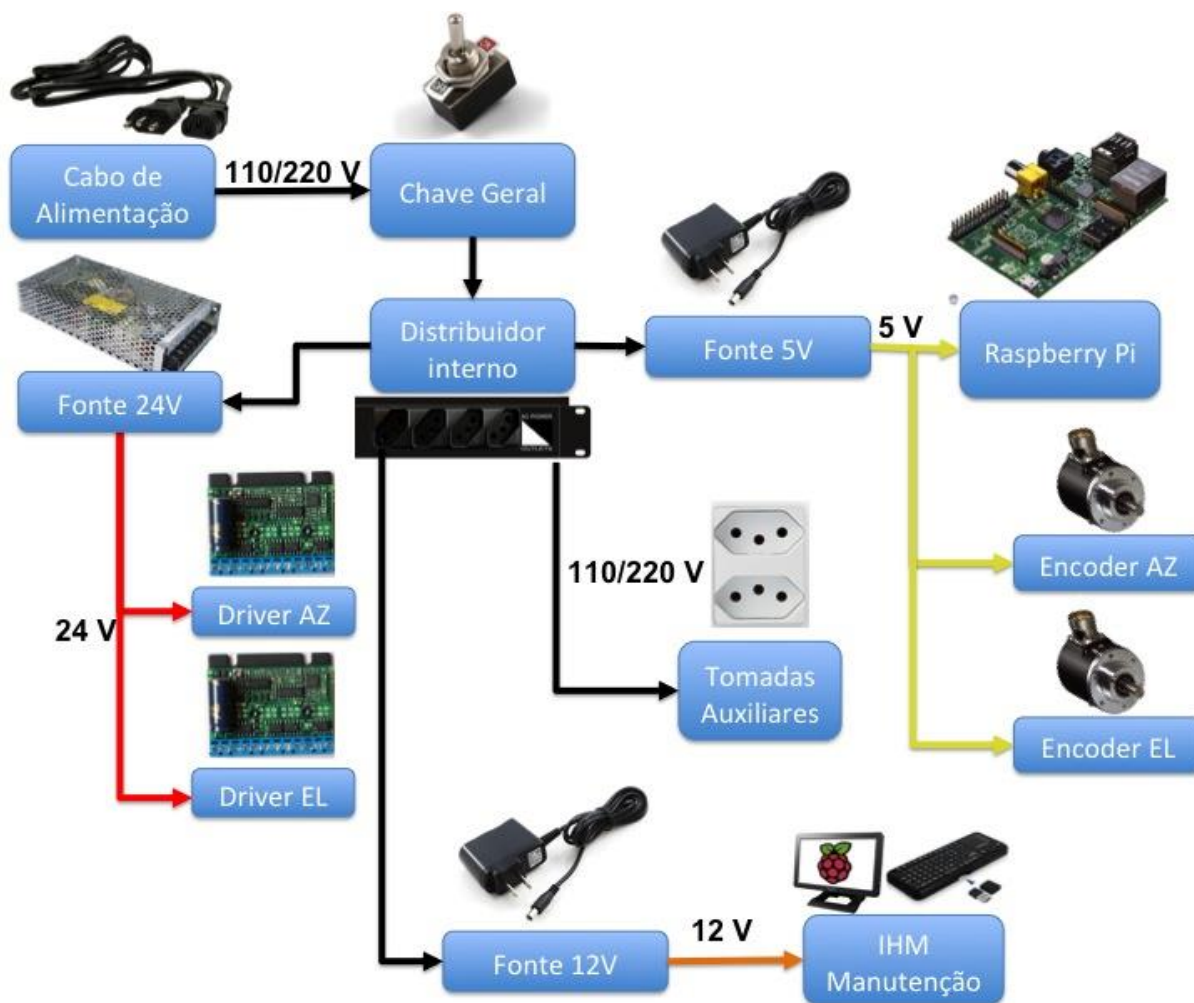


Figura 3.5 – Esquema de ligações elétricas entre componentes

3.4.3 Soluções implementadas

Como descrito na seção 3.4.1, concluiu-se que motores de passo seriam a melhor solução para o sistema. Então, foram adquiridos dois motores iguais para ambos os eixos (*Datasheet* disponível em Anexos). Foram escolhidos motores da marca Neoyama, modelo AK23/R200F4FN1.8-G20. Esses motores já possuem caixas de redução de relação 20:1. A tabela 3-8 mostra as principais especificações do motor.

Tabela 3-8

Item	Especificação
Ângulo do passo	1,8°
Número de passos	200
Temperatura máxima de operação	80 °C
Temperatura ambiente	-10 °C ~ 50 °C

Detent Torque	600 gf.cm
Redução	1:20
Peso	1,2 kg

Para o acionamento dos motores de passo foram comprados dois *drivers* específicos para motores de passo, da marca Neoyama, modelo AKDMP16-4.2a (*Datasheet* disponível em Anexos).

Apesar da utilização de motores de passo, os quais não necessitam de uma malha fechada para controle, foi decidido o emprego de *encoders* de modo a realimentar a posição angular dos eixos e facilitar o monitoramento da posição do sistema. Os encoders obtidos foram da marca Honeywell, modelo 600-128-CBL (*Datasheet* disponível em Anexos).

3.5 Mecânica

3.5.1 Alternativas de solução

No subsistema mecânico, existem dois dispositivos principais: os mecanismos de acionamento de azimute e de elevação. Considerando esses eixos, existem três configurações de posicionadores possíveis: elevação sobre azimute (figura 3.6a), azimute sobre elevação (figura 3.6b) e azimute sobre elevação sobre azimute (figura 3.6c).

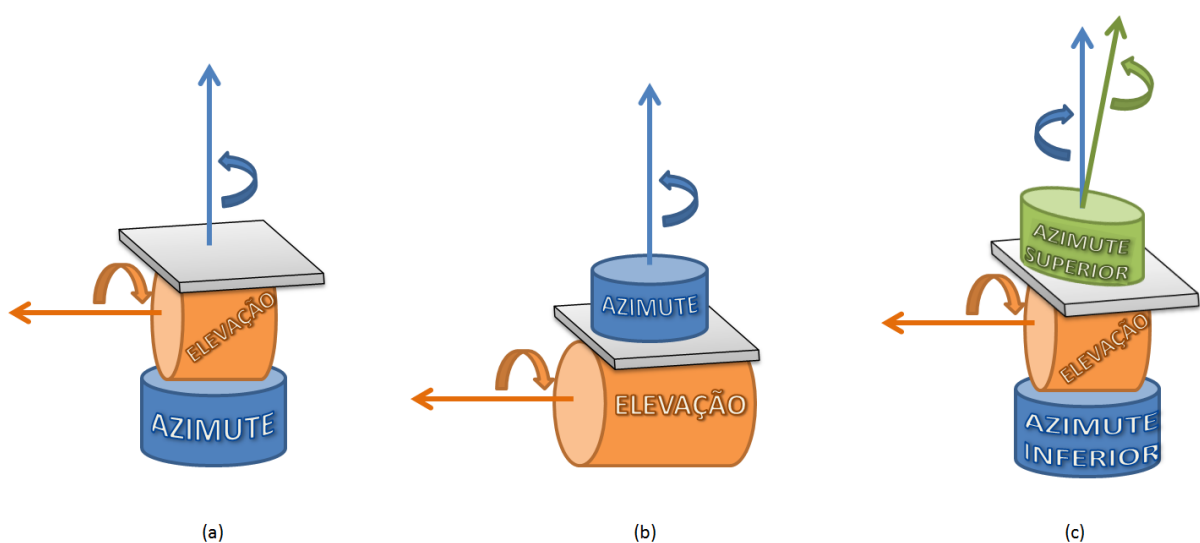


Figura 3.6 – Tipos de posicionadores: (a) elevação sobre azimute, (b) azimute sobre elevação e (c) azimute sobre elevação sobre azimute.

Contemplando-se o objetivo de criar um mecanismo simples, adotou-se a opção de posicionador de elevação sobre azimute, sendo este o principal tipo encontrado comercialmente.

O mecanismo de azimute pode ser considerado como mais crítico pois além de vencer a força do vento deve também vencer a força de atrito e a inércia de toda estrutura superior. Portanto, o projeto teve que ser robusto e capaz de transmitir o torque necessário para acelerar a estrutura superior, atingindo a velocidade exigida (ver seção 3.1).

Já o mecanismo do eixo de elevação, em comparação aos esforços feitos em azimute, tem que vencer uma inércia e atrito menores, no entanto, a força do vento é a mesma para ambos os eixos.

Partindo dessa primeira análise a alternativa de junta universal apresentada pela patente do item 2.1b e a possibilidade de transmissão direta sugerida por [4] foram descartadas. Buscou-se alternativas que utilizam redução devido ao porte da estrutura e, consequentemente, o torque exigido.

Considerando o aparato de azimute foram cogitadas as seguintes alternativas:

- a) Transmissão por trem de engrenagens planetário, como demonstrado na patente de item 2.1a e em [4];
- b) Transmissão por par de engrenagens;
- c) Transmissão por par coroa-pinhão, como feito em [1];
- d) Transmissão por polias e correia sincronizadora.

Por outro lado, considerando-se o mecanismo no eixo de elevação, foram estudadas as seguintes alternativas:

- a) Transmissão por par de engrenagens combinado com fuso como demonstrado na patente de item 2.1a, fazendo alusão à patente do item 2.1d também;
- b) Transmissão por cames serrilhados, como descrito na patente do item 2.1c;
- c) Transmissão por engrenagem e rosca sem-fim;
- d) Transmissão por polias e correia sincronizadora.

3.5.2 Critérios de seleção

Os critérios de seleção da solução para o sistema mecânico foram:

- Precisão: avalia o grau de precisão permitido pela solução;
- Tamanho: avalia o tamanho final do mecanismo;
- Peso;
- Facilidade de fabricação e montagem: avalia a complexidade de fabricação e montagem do aparato;
- Número de peças: avalia quantas peças compõem o mecanismo;
- Robustez mecânica: avalia a solução em relação ao seu comportamento durante operação em relação aos esforços solicitantes;
- Estabilidade (em operação);
- Facilidade de encontrar comercialmente;
- Custo;

A seguir apresenta-se a tabela 4-9 na qual foi feita uma comparação entre os critérios de seleção, podendo ser vista como a normalização dos pesos dos parâmetros.

Tabela 3-9

Critério		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total	Peso normalizado
Precisão	1		2	2	2	2	2	2	2	2	16	0,14678899
Tamanho	2	1		1	2	2	1	1	1	1	10	0,09174312
Peso	3	1	2		1	2	1	1	1	1	10	0,09174312
Facilidade de fabricação e montagem	4	1	1	2		2	1	1	1	1	10	0,09174312
Número de peças	5	1	1	1	1		1	1	1	1	8	0,0733945
Robustez mecânica	6	1	2	2	2	2		1	2	2	14	0,12844037
Estabilidade	7	1	2	2	2	2	2		2	2	15	0,13761468
Facilidade de encontrar comercialmente	8	1	2	2	2	2	1	1		2	13	0,11926606
Custo	9	2	2	2	2	2	1	1	1		13	0,11926606
											109	1

3.5.3 Seleção de alternativa

Com a definição dos critérios de seleção e seus respectivos pesos foi realizada a escolha da melhor alternativa através de uma matriz de decisão. As alternativas de soluções foram classificadas de 1 a 5 (1 - muito ruim, 2 - ruim, 3 - regular, 4 - bom, 5 - muito bom) para cada parâmetro.

Foi elaborada uma matriz de decisão para cada mecanismo: azimuth (tabela 3-10) e elevação (tabela 3-11).

Tabela 3-10

Critério	Peso	Solução a)	Solução b)	Solução c)	Solução d)
Precisão	0,146789	4	4	4	4
Tamanho	0,091743	4	2	2	2
Peso	0,091743	3	4	4	5
Facilidade de fabricação e montagem	0,091743	3	4	4	2
Número de peças	0,073394	2	4	4	4
Robustez mecânica	0,12844	5	4	4	4
Estabilidade	0,137615	4	3	3	4
Facilidade de encontrar comercialmente	0,119266	3	4	4	4
Custo	0,119266	2	3	3	3
Total:		3,440367	3,559633	3,559633	3,605505

Tabela 3-11

Critério	Peso	Solução a)	Solução b)	Solução c)	Solução d)
Precisão	0,14678899	4	4	4	3
Tamanho	0,09174312	4	2	3	2
Peso	0,09174312	4	4	4	5
Facilidade de fabricação e montagem	0,09174312	3	2	3	2
Número de peças	0,0733945	3	3	4	4
Robustez mecânica	0,12844037	4	3	4	4
Estabilidade	0,13761468	4	4	4	4
Facilidade de encontrar comercialmente	0,11926606	4	1	4	4
Custo	0,11926606	3	2	3	3
Total:		3,715596	2,834862	3,697248	3,458716

Como resultado da análise através das matrizes de decisão, o mecanismo para azimute escolhido foi a solução d), i.e., transmissão por polias e correia sincronizadora. Já para o mecanismo de elevação a melhor foi a solução a), i.e., transmissão por fuso.

3.5.4 Solução implementada

3.5.4.1 Mecanismo de portão

Um mecanismo já tecnologicamente consolidado, eficiente e que pode ser utilizado no projeto para o movimento de elevação é o mecanismo de abertura e fechamento de portões. Ele é composto basicamente por um fuso, que move linearmente um eixo através de uma guia, como é visto na foto da esquerda da figura 3.7.

No caso do mecanismo obtido, o fuso possuía rosca trapezoidal com duas entradas e passo de 8 mm. O mecanismo foi desmontado e algumas peças foram reutilizadas: o fuso trapezoidal, o eixo roscado e a guia externa. Essas peças foram renomeadas como eixo, luva roscada deslizante e luva telescópica, respectivamente. Elas estão descritas nos desenhos de fabricação componentes do Apêndice B, de modo que podem ser replicadas se necessário.



Figura 3.7 – Mecanismo de portão desmontado. Tem-se, da esquerda pra direita, luva telescópica, luva roscada deslizante e eixo.

Como escolhido na seção 3.5.3, a transmissão de movimento no eixo de elevação foi feita através de um fuso. O eixo do mecanismo desmontado atua como o fuso da solução. O

fuso foi acoplado ao eixo do motor de passo e gira conforme tal. Como o fuso tem somente um grau de liberdade (rotação), ele transmite movimento à luva roscada deslizante e, então, a luva se desloca linear e verticalmente, encapsulada dentro da luva telescópica.

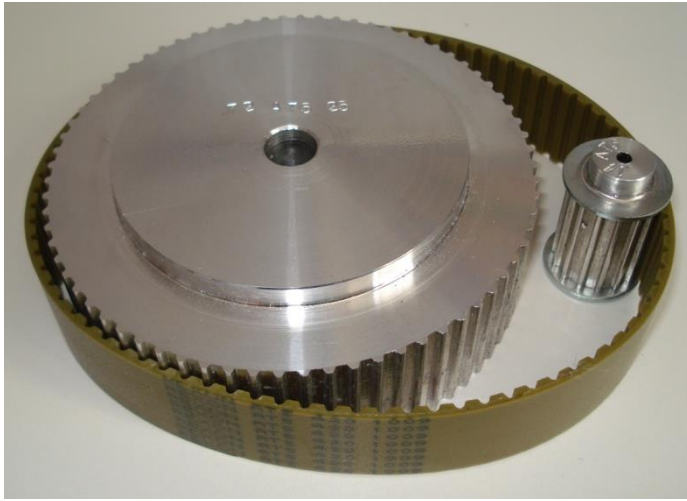
Além disso, a luva telescópica foi utilizada como eixo de azimuth, adicionando mais um grau de liberdade (rotação) ao dispositivo. A transmissão no eixo de azimuth foi feita através de duas polias e uma correia sincronizadora, como pode ser visto na seção 3.5.4.2. Na parte externa da luva telescópica foi colocada a polia maior, sendo então o eixo movido. A engrenagem menor foi colocada no eixo do outro motor de passo e ambas as engrenagens foram conectadas por meio da correia sincronizadora, que transmitirá o torque entre as polias.

3.5.4.2 Eixo de Azimute

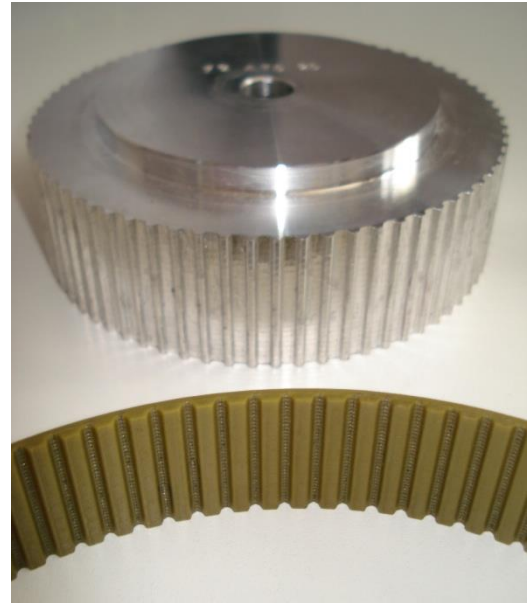
Para a transmissão no eixo de azimuth, foram selecionadas duas engrenagens e uma correia sincronizadora. A tabela 3-12 descreve as características das peças mencionadas. Da tabela 3-12 tem-se que a relação de redução é de 36:7.

Tabela 3-12

	Código	Passo (mm)	Tipo de dente	Número de dentes	Diâmetro Primitivo (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	Material
Engrenagem menor	14 AT5	5	Trapezoidal	14	22,29	31 (s/ cubo)	12	Alumínio
Engrenagem maior	72 AT5			72	114,59	31 (s/ cubo)	260	Alumínio
Correia	420 AT5			84	420	25	-	Poliurex



(a)



(b)

Figura 3.8 - Foto das polias e correia sincronizadora para transmissão de movimento em azimuth.

Na figura 3.8 encontram-se fotos das peças adquiridas. Ambas polias foram usinadas de modo a encaixar nos eixos, isto é, na luva telescópica e no eixo do motor de azimuth. As polias também foram detalhadas em desenhos de fabricação no Apêndice B.

Já na figura 3.9 (figura CAD de todo sistema montado) é possível ver as polias e o eixo de azimuth.

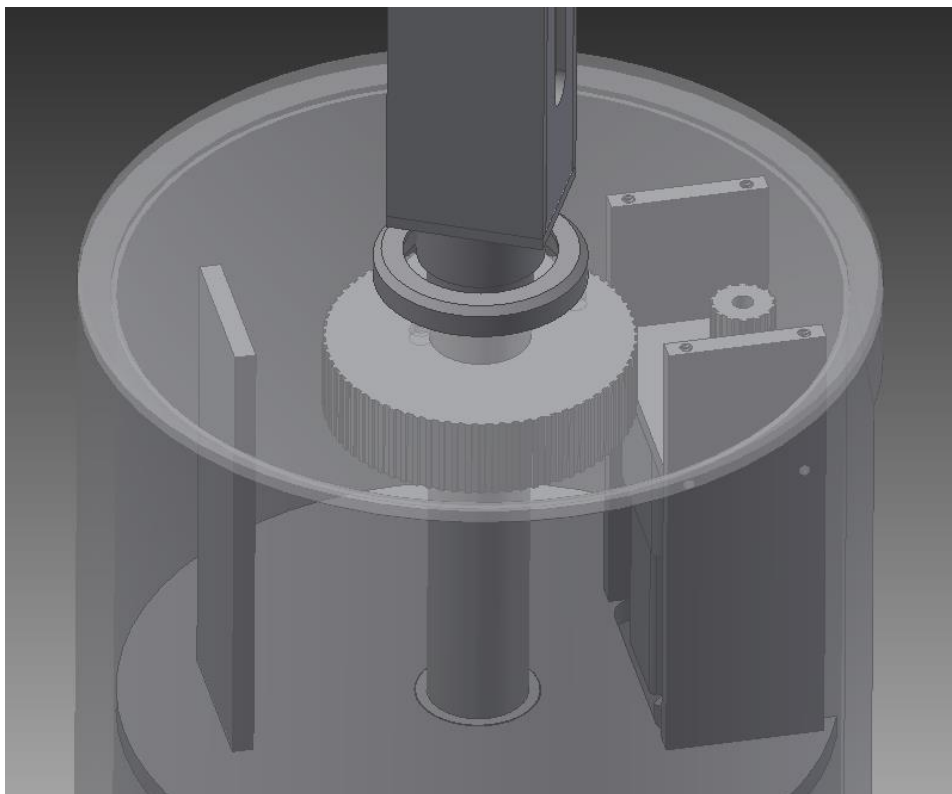


Figura 3.9 - Detalhe para as polias e eixo de azimuth.

3.5.4.3 Eixo de Elevação

Como apresentado na seção 3.5.4.1, a luva roscada deslizante pode ser considerada como o eixo de elevação. O mecanismo de elevação foi projetado para funcionar como um mecanismo biela-manivela, sendo equacionado seu comportamento. Os gráficos gerados apresentam a relação entre o avanço linear do movimento da luva roscada e o ângulo de saída (ângulo de elevação) da bandeja posicionadora. A figura esquemática do modelo utilizado pode ser observada na figura 3.10 e o gráfico na figura 3.11.

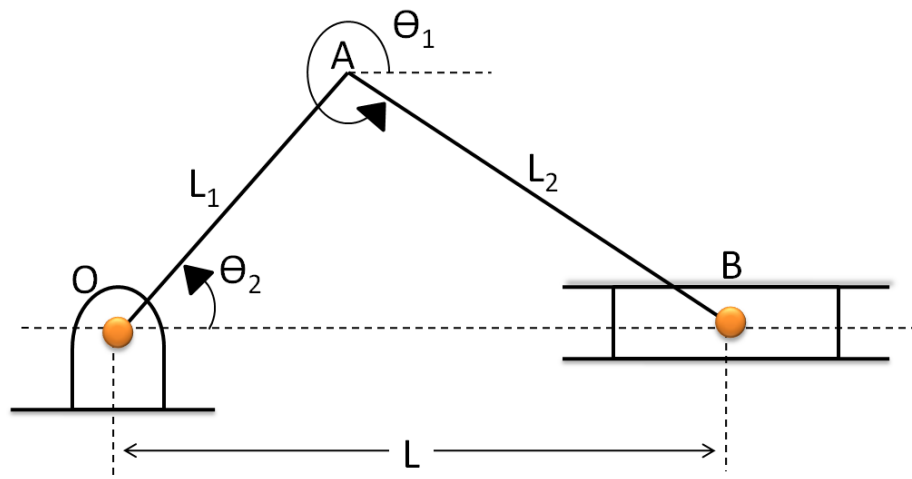


Figura 3.10 – Modelo esquemático biela-manivela.

Na figura 3.10, "L" representa a luva roscada.

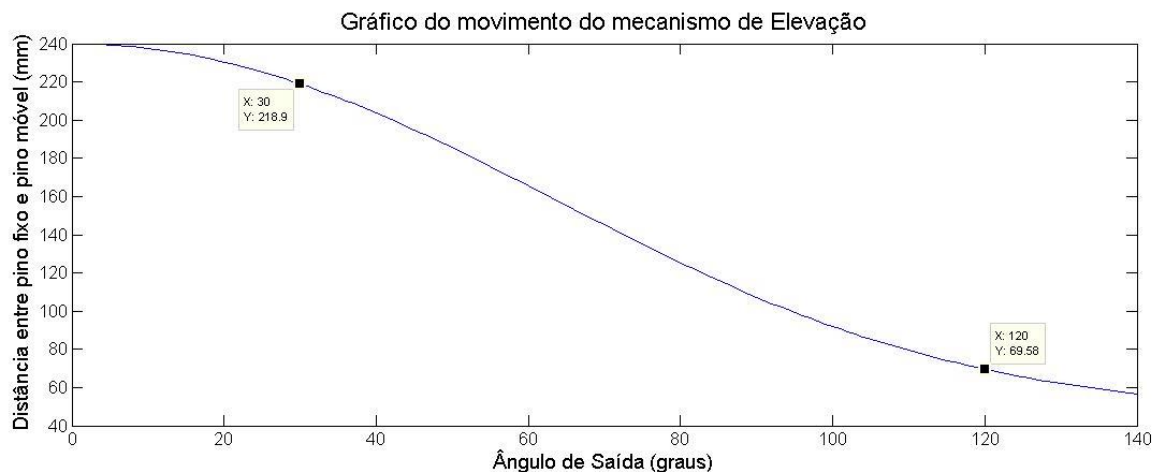


Figura 3.11 – Gráfico que demonstra a relação entre o movimento linear e o ângulo da bandeja.

A faixa de ângulos de saída (Θ_2) escolhida foi na região aproximadamente linear do gráfico apresentado da figura 3.11, isto é, de aproximadamente 30° a 120° . Projetou-se desse modo uma peça adaptadora para que quando um dispositivo seja acoplado ao sistema posicionador, este dispositivo alcance, na verdade, um ângulo de apontamento na faixa de 0 a 90° .

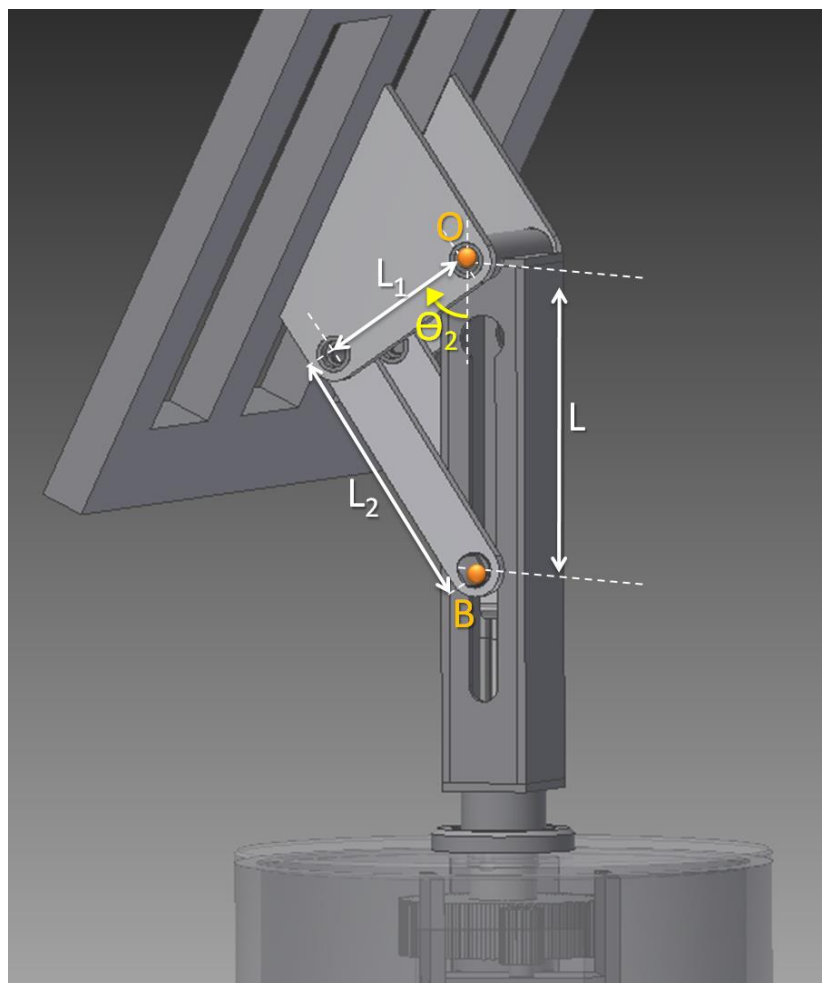


Figura 3.12 - Esquema aplicado ao desenho CAD do eixo de elevação.

Na figura 3.12 pode-se observar o esquema biela-manivela mostrado na figura 3.10 colocado no CAD do eixo de elevação.

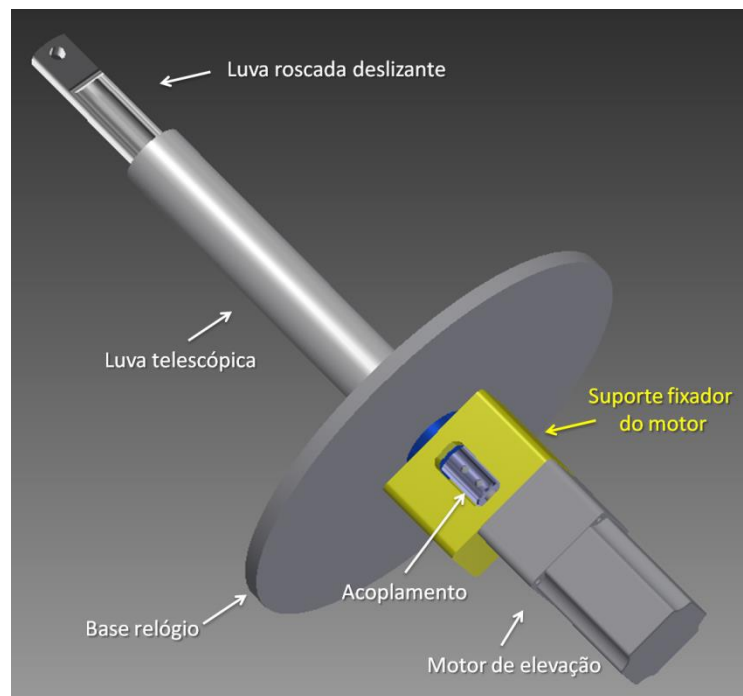


Figura 3.13 - Detalhe de todo mecanismo de elevação: motor, acoplamento, luva telescópica e luva roscada deslizante.

A peça destacada em amarelo na figura 3.13 é mostrada mais detalhadamente na figura 3.14. É uma das peças mais complexas do mecanismo e sua função é fixar o motor de elevação à estrutura interna do sistema, isto é, à chamada "base do relógio" (ver Apêndice B - Desenhos de Fabricação). O eixo do motor e o eixo (fuso trapezoidal) passam por dentro dela e as aberturas laterais têm como objetivo promover acesso ao acoplamento entre os eixos.

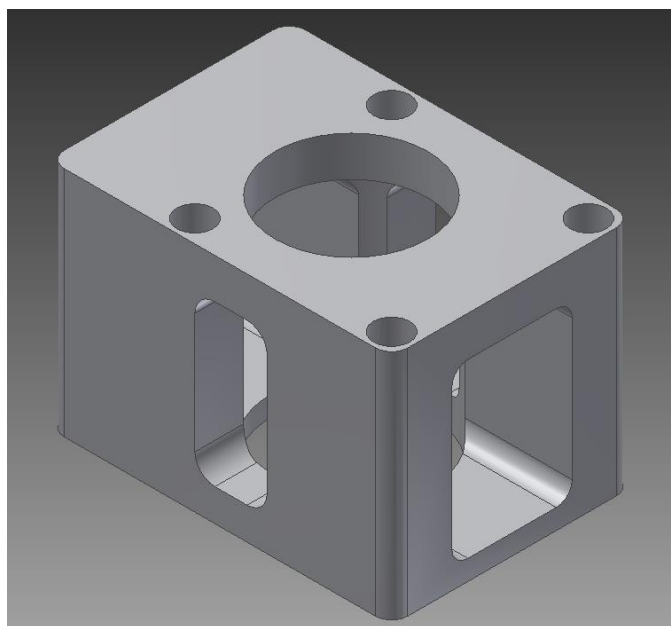


Figura 3.14 - Suporte fixador do motor de elevação.

Além disso, nessa peça foi fixado o *encoder* do eixo de elevação. Como mostrado na próxima seção, foi realizado um estudo para encontrar o posicionamento mais adequado para os encoders de ambos os eixos. Para o eixo de elevação foram adquiridas duas polias e uma correia sincronizadora descritas na tabela 3-13. As polias utilizadas nesse caso são iguais pois o objetivo é de deslocar o movimento de rotação do eixo principal para um eixo paralelo de sensoriamento com relação 1:1.

Tabela 3-13

	Código	Passo (mm)	Tipo de dente	Número de dentes	Diâmetro Primitivo (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	Material
Engrenagens	28 MXL 025	2,032 (MXL)	Trapezoidal	28	17,85	9,9 (s/ cubo)	18	Alumínio
Correia	536 MXL			67	136,14	6,35	-	Poliurex

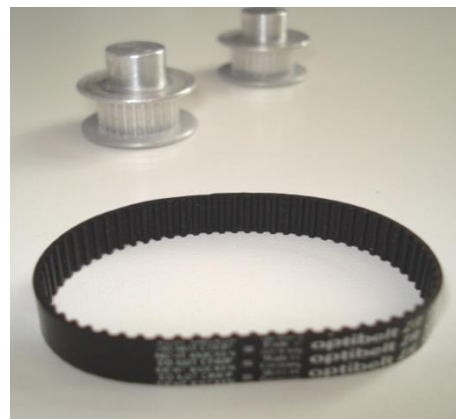


Figura 3.15 - Fotos das polias e correia sincronizadoras do *encoder* do eixo de elevação.

3.5.4.4 Estudo da posição dos *encoders*

Para cada um dos eixos do movimento do mecanismo posicionador haviam diferentes opções de posicionamento dos sensores de posição (*encoders*) e a escolha de seu posicionamento influencia diretamente na resolução do posicionamento do eixo e na frequência dos pulsos de sensoramento que deverão ser lidos pelo microcontrolador. As características dos motores e *encoders* são apresentadas abaixo:

Redutor do Motor:

Relação de redução 20:1

Encoder Óptico:

2 canais de saída

128 pulsos por revolução

Resolução de 512 transições por revolução

- **Eixo de Elevação**

No eixo de Elevação efetua-se o movimento através de um fuso trapezoidal que aciona um mecanismo biela-manivela, as características de cada um dos componentes está sintetizada abaixo:

Fuso Trapezoidal:

Passo de 8mm/ volta

Fuso com 2 entradas

Curso útil de 160mm (0-90graus)

Existiam duas opções para o posicionamento do encoder rotativo nesse caso:

a) *Encoder* na entrada do fuso trapezoidal (saída do redutor do motor) com relação 1:1

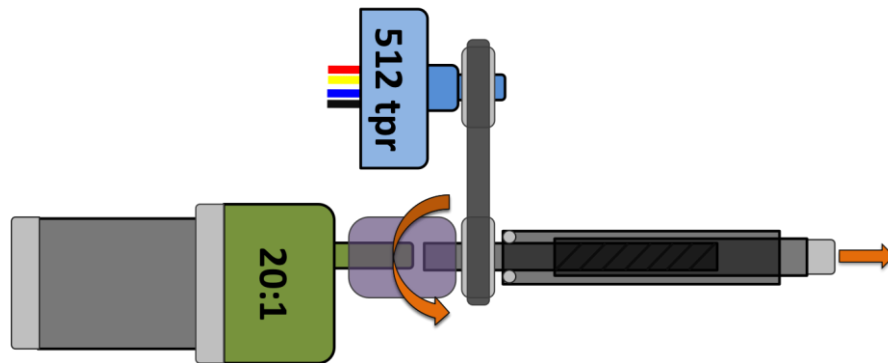


Figura 3.16 - Esquema da alternativa a) para encoder elevação.

Nesse caso o encoder gera 512 transições para cada revolução na saída do redutor do motor, fazendo com que tenhamos 10240 transições para o curso útil do equipamento. Então, podemos aproximar a resolução como sendo $8,8 \times 10^{-3}$ graus.

Para a faixa de operação do dispositivo com velocidades de 1 a 5 graus por segundo, teríamos frequências de no máximo 600Hz nas transições.

b) *Encoder* no eixo do motor (entrada do redutor)

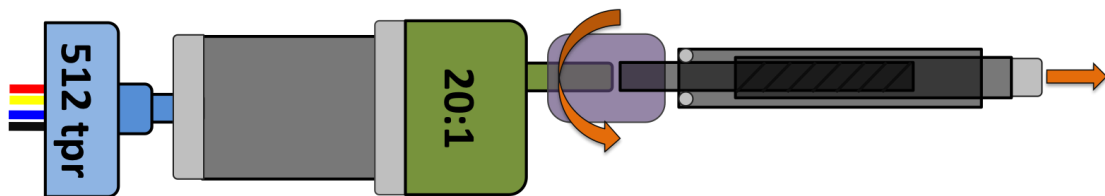


Figura 3.17 - Esquema da alternativa b) para encoder elevação.

Para esse caso o encoder registra a cada 8 mm de avanço do eixo de saída 204800 transições, isso acarreta em uma resolução de $4,4 \times 10^{-4}$ graus, e para faixa de velocidades do mecanismo gera frequências de no máximo 11,5kHz.

- **Eixo de Azimute**

No eixo de Azimute efetua-se o movimento através da rotação da luva telescópica, as características de cada um dos componentes podem ser observada abaixo:

Redução por Polias:

Relação de Redução 36:7

Existem também duas opções para o posicionamento do encoder rotativo nesse caso:

a) *Encoder* na saída do redutor do motor do eixo de azimute

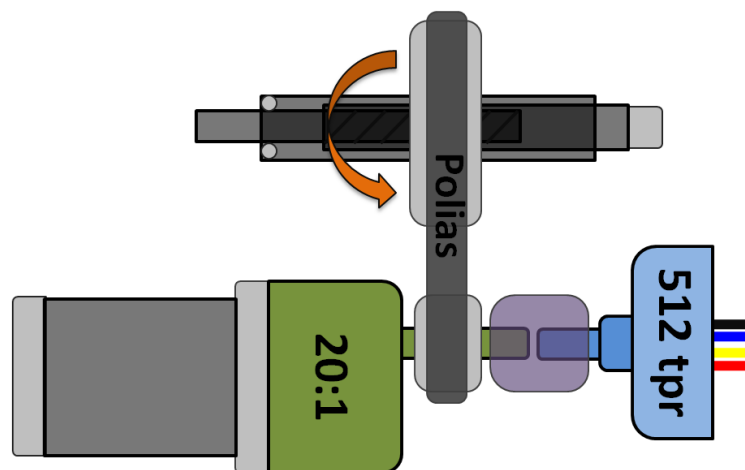


Figura 3.18 - Esquema da alternativa a) para encoder azimute.

Nessa configuração o encoder gera 512 transições para cada revolução na saída do redutor do motor, ou seja, com o uso de um jogo de polias com relação de redução 36:7 teremos 1536 transições para os 360 graus de azimute. A resolução atingida nesse caso é de $2,35 \times 10^{-1}$ graus com uma frequência de pulsos de no máximo 36,26 Hz.

b) *Encoder* no eixo do motor

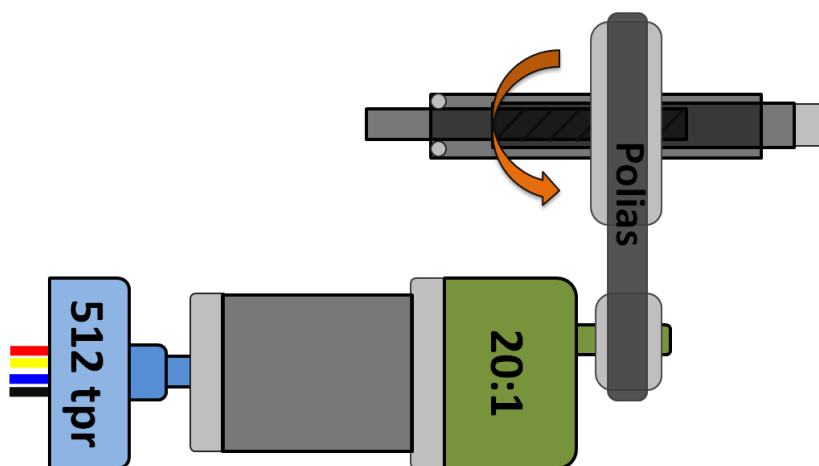


Figura 3.19 - Esquema da alternativa b) para encoder elevação.

Para esse caso o encoder registra cada rotação do eixo do motor gerando 30720 transições para o giro de 360 graus no eixo de azimuth, isso significa que temos uma resolução de $1,2 \times 10^{-2}$ graus no eixo de azimuth. Para a faixa de velocidades do mecanismo temos então frequências que atingem 732 Hz.

- **Tabela de resumo**

Tabela 3-14

Elevação	Resolução (graus)	Faixa de Frequência (Hz)
a) saída do redutor	$\approx 8,8 \times 10^{-3}$	100 – 600
b) entrada redutor	$\approx 4,4 \times 10^{-3}$	2300 – 11500
Azimuth		
a) saída do redutor	$2,35 \times 10^{-1}$	7,29 – 36,26
b) entrada do redutor	$1,1 \times 10^{-2}$	145,7 – 732

Escolheu-se as opções de posicionamento que melhor se adequaram a resolução que pretendíamos para o dispositivo, assim como frequências de pulsos de sensoriamento compatíveis com a temporização utilizada para efetuar o controle do dispositivo. Por isso, foram escolhidas as opções A para o eixo de elevação e B para o eixo de azimuth.

3.6 Software

O projeto de software consiste em definir a Interface Homem-Máquina (ou IHM) e o microcontrolador Raspberry Pi. A IHM será exibida no PC de controle remoto. Ela tem como objetivo fazer a ponte entre o usuário e o sistema de modo que aquele possa definir as configurações de varredura desejadas e acompanhar o monitoramento do sistema durante a varredura propriamente dita. Já em relação ao Raspberry, objetiva-se a ponderação e elaboração de todas as funcionalidades necessárias para a operação do sistema de posicionamento, ou seja, todo o controle do sistema em si tendo em vista a arquitetura de eletrônica embarcada escolhida.

O projeto de software foi feito segundo as diretrizes de UML (*Unified Modeling Language*). A UML é uma linguagem de representação de projetos de software, assim como o desenho técnico o é para os projetos mecânicos e é utilizada para auxiliar no desenvolvimento de softwares, o qual ainda não possui um roteiro prático ou bem definido, isto é, como um tutorial ou uma “receita de bolo³”. Esta ferramenta define diversos tipos de diagramas que modelam o sistema a ser implementado: diagramas de casos de uso, de classes, de componentes, de sequência, de estados, entre outros.

Como modelo para a interface homem-máquina foram consideradas as encontradas nas soluções comerciais [13] e [14].

Na figura 3.20 é apresentado o diagrama de blocos do sistema.

³ Esse assunto é abordado no artigo “No silver bullet”, de Frederick P. Brooks, Jr., disponível no website <http://www.cs.nott.ac.uk/~cah/G51ISS/Documents/NoSilverBullet.html>.

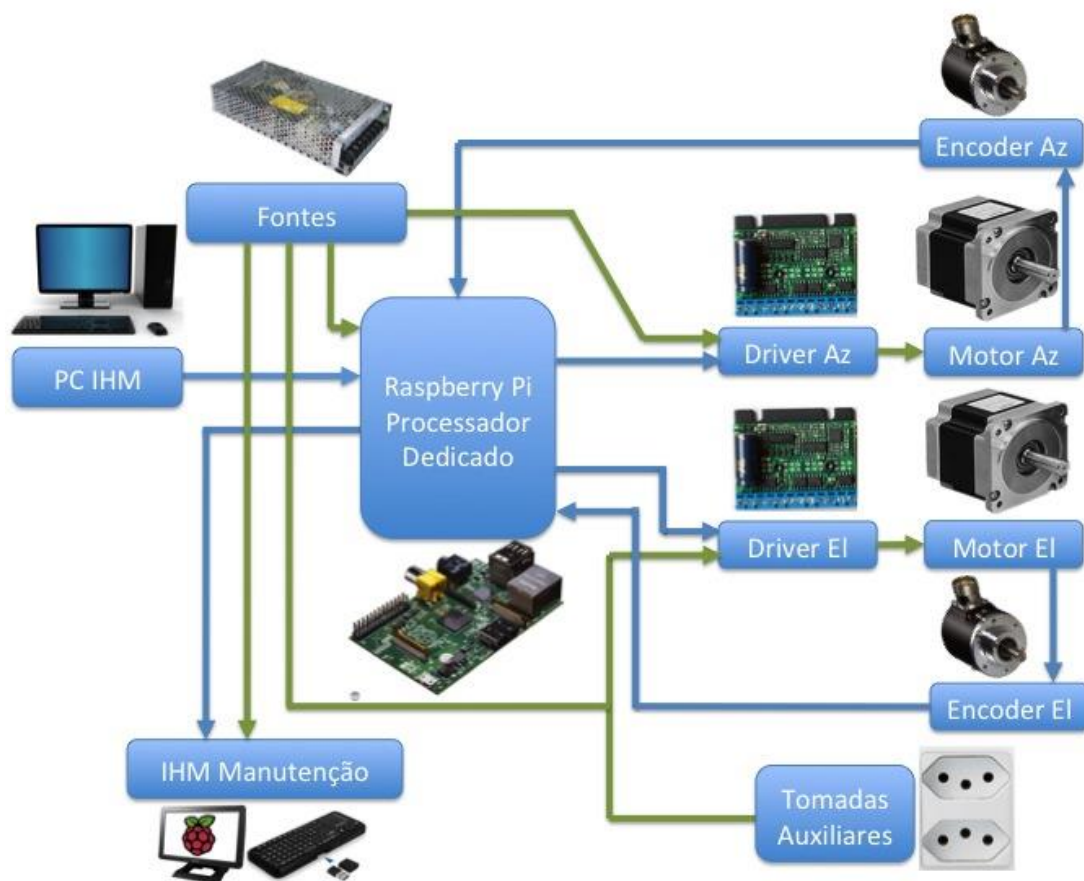


Figura 3.20 – Diagrama de Blocos do dispositivo

3.6.1 Interface Homem-Máquina

Primeiramente, foram levantados os casos de uso da IHM . Os casos de uso podem ser vistos como requisitos ou funcionalidades que o sistema deve cumprir.

I) Configurar parâmetros de varredura:

- Escolher tipo de varredura: os tipos de varreduras pré-programadas são as mais frequentemente utilizadas.
 - Total: varre todo o espaço coberto pelo sistema de posicionamento, utilizando os intervalos máximos de azimuth e elevação.
 - Setorial: varre um setor que será definido nos intervalos de azimuth e elevação.
 - Por linha azimuthal (horizontal): varre uma linha azimuthal (todo intervalo) com a coordenada de elevação fixa.

- Por linha de elevação (vertical): varre uma linha de elevação (todo intervalo) com a coordenada de azimute fixa.
 - Espiral: percorre uma trajetória espiral, cobrindo todo o espaço possível de varredura.
 - Carregar tipo de varredura: possibilidade de o usuário carregar arquivo de outro tipo de varredura.
 - Criar novo tipo de varredura: o usuário define os intervalos azimutal e de elevação;
 - Escolher intervalo de azimute e de elevação: função estará habilitada ou desabilitada dependendo do tipo de varredura escolhido;
 - Escolher velocidade de varredura para varredura;
 - Escolher número de repetições de varredura.
- II) Configurar IP e porta do PC e do microcontrolador :** para uma correta comunicação.
- III) Manipulação de arquivos:**
- Histórico: salvar registro de posições.
 -
- IV) Controle manual de posicionamento:**
- Jog +: anda um passo no sentido positivo de ambos os eixos de azimute e elevação;
 - Jog -: anda um passo no sentido negativo de ambos os eixos;
 - Carregar alvo: carrega arquivo com coordenadas de “alvo”;
 - Salvar alvo: salva em arquivo as coordenadas do “alvo”;
 - Localizar alvo: aponta antena para coordenadas do “alvo”;
 - Home: zero referência de ambos os eixos.
- V) Controle automático:** executa a varredura automaticamente.
- Iniciar varredura;
 - Pausar varredura;
 - Continuar varredura: continua de onde parou;
 - Abortar varredura: cancela varredura.

VI) Monitoração:

- Mostrar status do sistema:
 - Conectado/Desconectado: se a comunicação entre PC remoto e sistema local está ativa;
 - Habilitado/Desabilitado: se o sistema está pronto para início da varredura.
 - Parado/Movendo: status da antena;
- Mostrar trajetória da antena em tempo real (gráfico);
- Mostrar posição atual;
- Mostrar status dos sensores;
- Mostrar log;
- Mostrar mapa com localização da antena (latitude, longitude) – outra janela.

As figuras 3.21 e 3.22 mostram o Diagrama de Casos de Uso e o Diagrama de Componentes do PC/IHM, respectivamente.

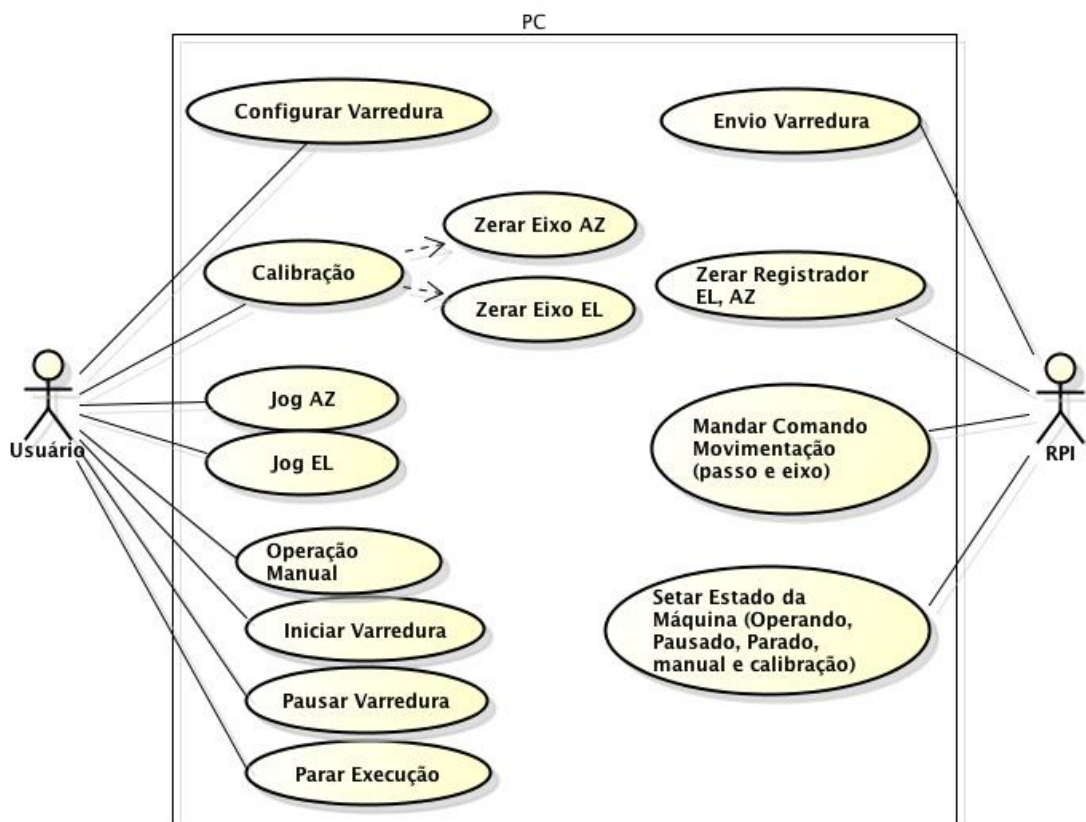


Figura 3.21 – Diagrama de Casos de Uso do PC.

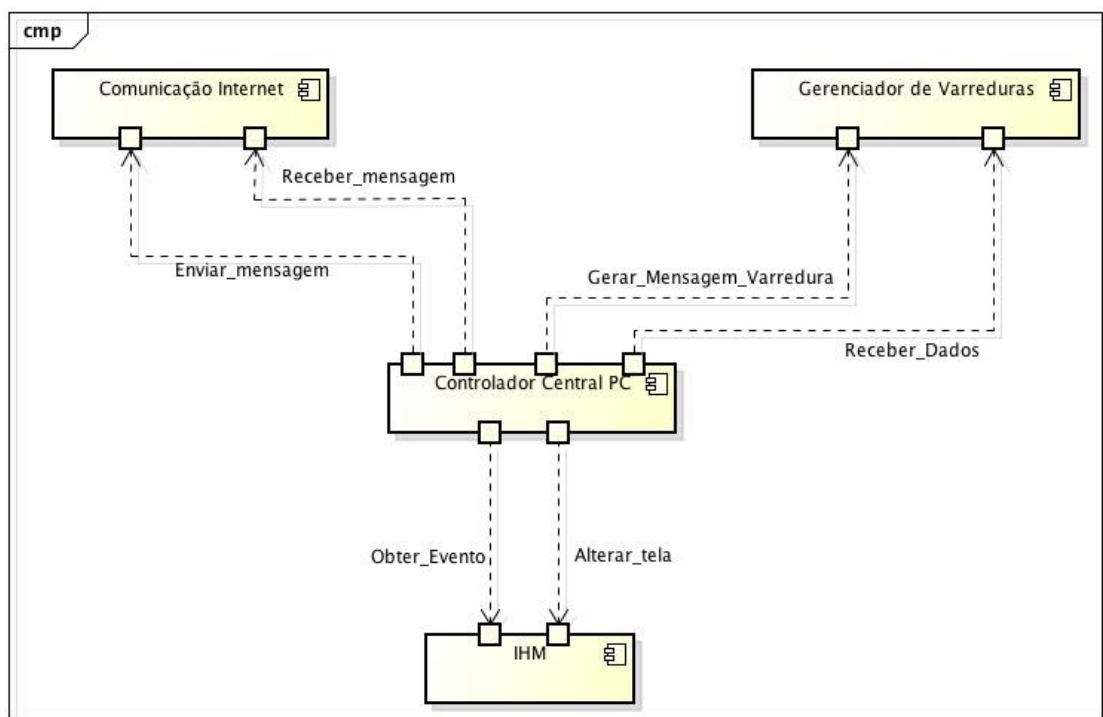


Figura 3.22 – Diagrama de Componentes do PC.

3.6.2 Raspberry Pi

A figura 3.23 mostra o Diagrama de Casos de Uso do Raspberry Pi (R-Pi).

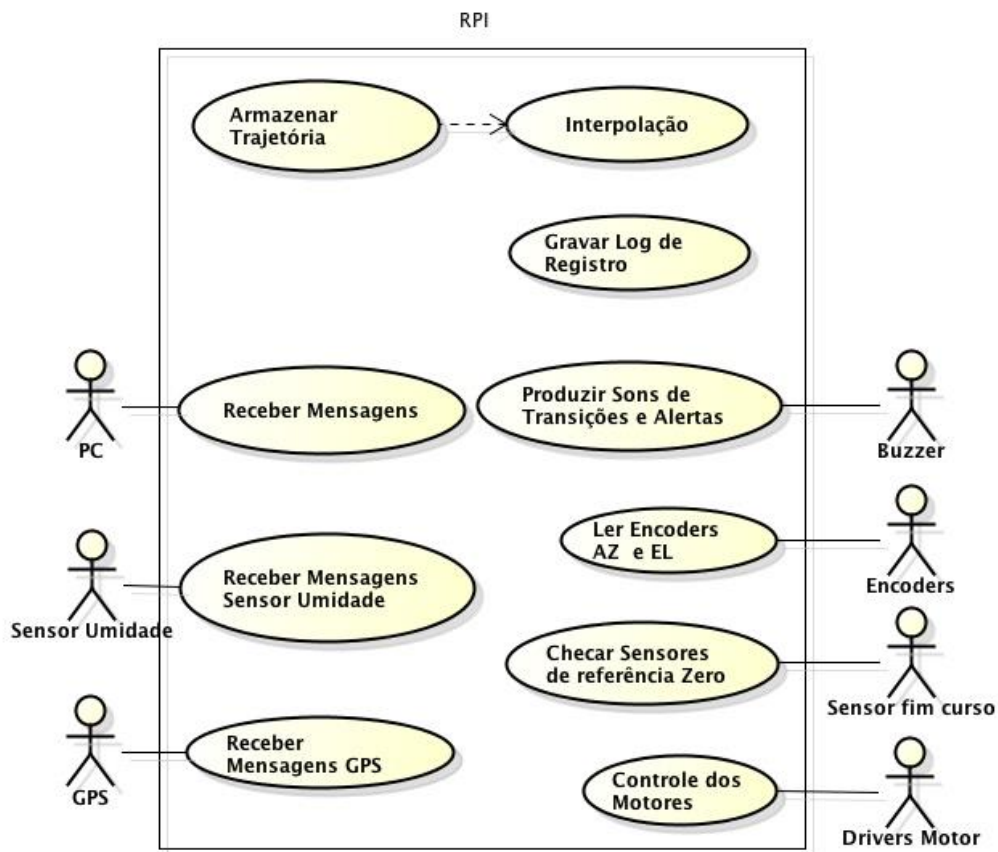


Figura 3.23 – Diagrama de Casos de Uso do R-Pi.

O microcontrolador rodará uma aplicação que se encarregará de realizar todo o comportamento da máquina, providenciando assim acesso remoto ao dispositivo, escrita de arquivos de registros e outros comandos específicos de operação. O aplicativo desenvolvido promove as transições de estado da máquina de acordo com a máquina de estados da figura 3.24.

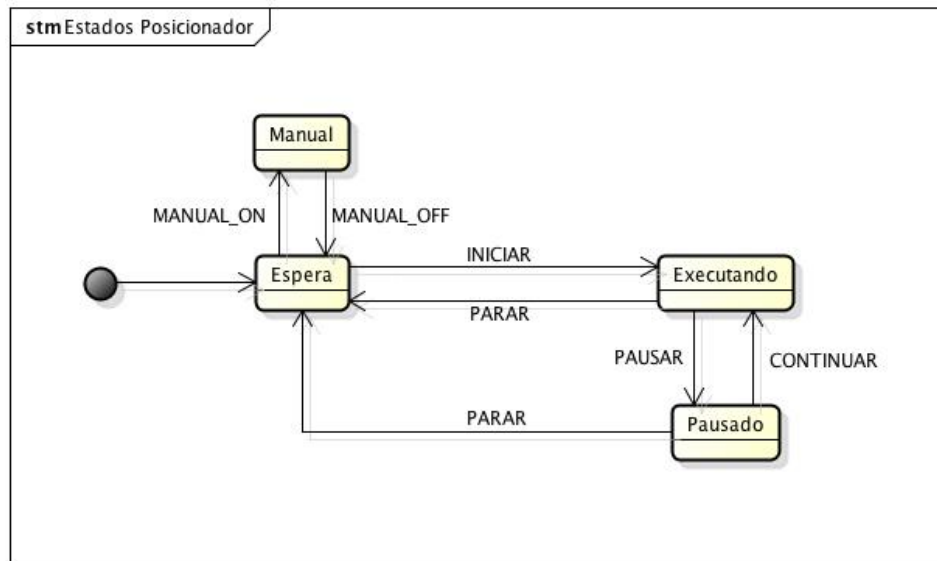


Figura 3.24 – Máquina de Estados do R-Pi.

O software embarcado desenvolvido respeita tais transições através dos eventos enviados pela IHM, sendo eles:

- INICIAR: inicia a operação automática do dispositivo após configurada uma varredura automática
- PARAR: para a execução automática e leva máquina para estado de espera
- PAUSAR: pausa e execução
- CONTINUAR: retorna a execução do a partir do ponto pausado na varredura
- MANUAL_ON: entra em modo manual do equipamento permitindo movimentações manuais do equipamento
- MANUAL_OFF: retorna ao modo de espera

Para cada um desses eventos gerados são realizadas transições de estado, e em cada transição de estados são alocadas novas tarefas para o microcontrolador (*tasks*), tais como: controle de motor, leitura de sensores, comunicação, registro de informações, etc. Ao iniciar o programa são criadas as *tasks* temporizadas para leitura dos *encoders* de posição, sensores de umidade e leitura do GPS. As *tasks* são alocadas da seguinte maneira no programa:

- Início do programa:
 - Adiciona as *tasks*:
 - Leitura de *encoders*
 - Comunicação com Internet
 - Comunicação GPS
 - Comunicação Sensor Umidade
 - Registro de Informações

- Leitura dos sensores de Zero e Fim de curso
- Na transição para execução (INICIAR):
 - Adiciona as *tasks*:
 - Controle de Motores
 - Controle de Movimentação
- Na transição para pausar e parar (PAUSAR e PARAR):
 - Remove as *tasks*:
 - Controle de Motores
 - Controle de Movimentação
- Na transição para continuar a execução (CONTINUAR):
 - Adiciona as *tasks*:
 - Controle de Motores
 - Controle de Movimentação
- Na transição para modo manual (MANUAL_ON):
 - Adiciona as *tasks*:
 - Movimentação Manual
- Na transição para sair do modo manual (MANUAL_OFF):
 - Remove as *tasks*:
 - Movimentação Manual

Para que o funcionamento ocorra da forma desejada os módulos são todos orquestrados pelo controlador principal (controller) como apresentado no diagrama de componentes, figura 3.25.

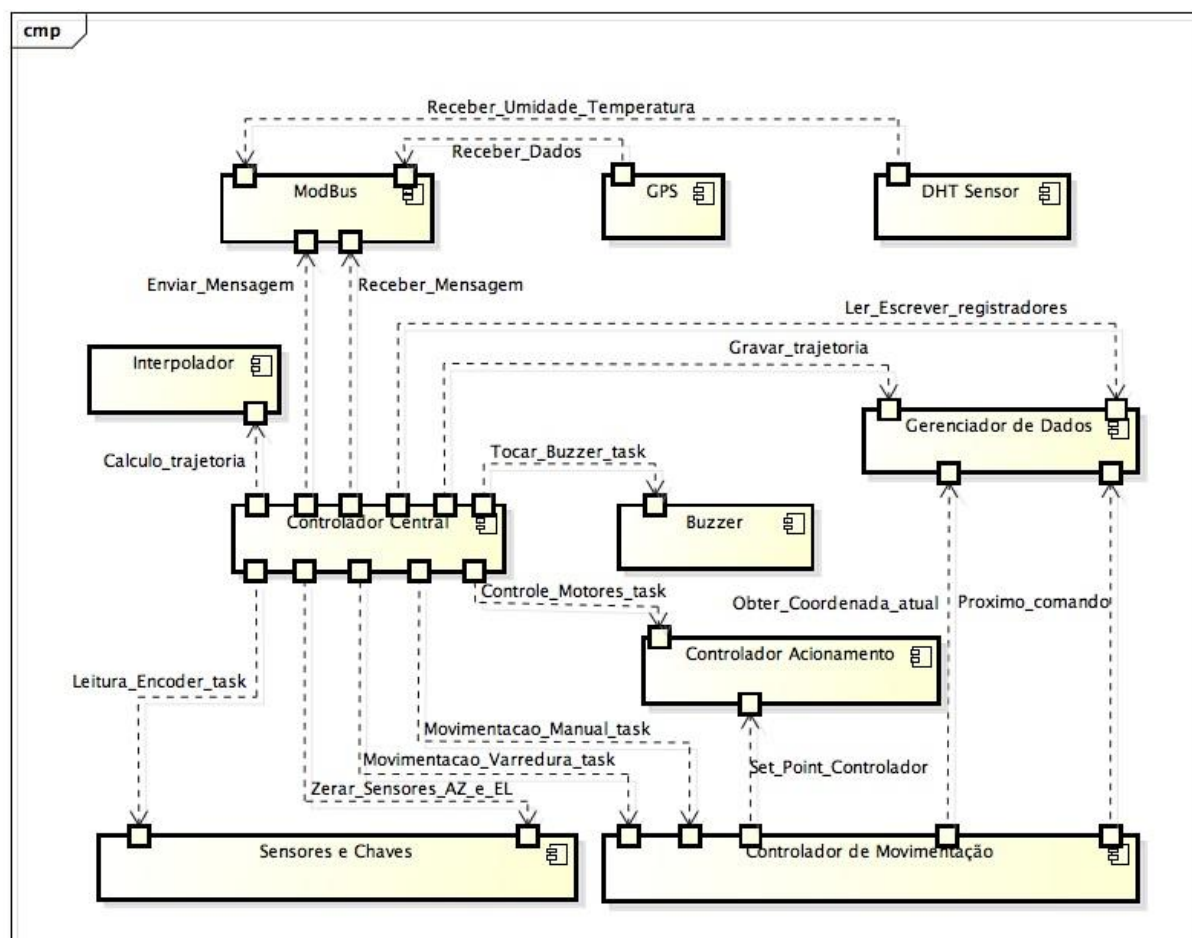


Figura 3.25 – Diagrama de componentes R-Pi.

As tarefas organizadas pelo controller são temporizadas de acordo com a tabela 3-15.

Tabela 3-15

Task	Temporização (s)	Frequência (Hz)
Leitura encoders	1 ms	1 kHz
Controle de motores	500 ms	2 Hz
Comunicação	50 ms	20 Hz
Buzzer	500 ms	2 Hz
Movimentação Varredura	500 ms	2 Hz
Movimentação Manual	500 ms	2 Hz
Armazenamento LOG	1 s	1 Hz
Comunicação DHT	5 s	0.2 Hz

Descrição das tarefas:

- **Leitura de Encoders:** Realiza a leitura dos *encoders* dos eixos de azimute e elevação realimentando o sistema com a posição atual do mecanismo.
- **Controle de Motores:** Realiza o controle do motor através da definição e configuração da excitação a ser enviada aos motores do mecanismo.
- **Comunicação:** Leitura do buffer de recebimento de comandos enviados através da internet por um computador remoto.
- **Buzzer:** Rotina que realiza o toque de um buzzer para sinalizar transições de estado e alertas.
- **Movimentação Varredura:** Realiza a atualização dos *setpoints* de movimentação dos motores acordo com a varredura configurada e armazenada na memória do dispositivo.
- **Movimentação Manual:** Realiza a atualização dos *setpoints* de movimentação dos motores de acordo com os comandos recebidos de movimentação manual.
- **Armazenamento LOG:** Realiza a captura de todas as variáveis importantes do dispositivo (posição elevação, posição azimute, data/hora, temperatura e umidade) e armazena na memória interna do dispositivo.
- **Comunicação DHT:** Rotina que faz a interface de comunicação com o sensor de temperatura e umidade capturando assim os valores relativos a essas medidas.

3.7 Análise de riscos

A Confiabilidade em um sistema é algo imprescindível, especialmente em soluções de Engenharia. Para tanto, uma análise dos riscos possíveis aos quais o sistema está exposto se torna essencial. A norma ISO 31000, de 2009, trata da gestão de riscos. Ela apresenta ferramentas para identificar, gerenciar e controlar os riscos e suas consequências. Entende-se como risco algum evento ou condição incerta, com certa probabilidade de acontecer que, se ocorrer, pode ocasionar efeitos positivos ou negativos no sistema em questão. Aqui serão abordados somente os de efeitos negativos, pois são os que inspiram cuidados.

A norma possui extenso material para ser utilizado, para este projeto será feita uma análise mais simples, porém de extrema importância visto que o projeto se destina a um produto final, podendo ser até concorrente das versões comerciais. Essa análise será feita através da Matriz de Probabilidade e Impacto, mostrada em [2]. Através da tabela de Escalas de Impacto em Objetivos do Projeto (figura 3.26a), pode-se atribuir a um risco ou conjunto de riscos seu impacto a um objetivo do projeto numericamente.

Depois, utilizando-se a Matriz de Probabilidade e Impacto (figura 3.26b), classifica-se o risco como alto (azul escuro), médio (azul médio) ou baixo (azul claro), determinando sua importância para o projeto de modo a se tornar um parâmetro que deve ser controlado ou não.

A probabilidade determinada para cada risco foi considerada em relação às probabilidades dos outros riscos ocorrerem.

Objetivos do Projeto	Grau de Impacto				
	Muito baixo 0,05	Baixo 0,10	Moderado 0,20	Alto 0,40	Muito alto 0,80
Custo	Aumento de custo não significativo	Aumento de custo < 10%	Aumento de custo de 10% a 20%	Aumento de custo de 20% a 40%	Aumento de custo > 40%
Tempo	Aumento de tempo não significativo	Aumento de tempo < 5%	Aumento de tempo de 5% a 10%	Aumento de tempo de 10% a 20%	Aumento de tempo > 20%
Escopo	Diminuição do escopo quase imperceptível	Áreas menos importantes do escopo afetadas	Áreas importantes do escopo afetadas	Redução do escopo inaceitável para o patrocinador	Item final do projeto sem nenhuma utilidade
Qualidade	Degradação da qualidade quase imperceptível	Somente as aplicações mais críticas são afetadas	Redução da qualidade exige a aprovação do patrocinador	Redução da qualidade inaceitável para o patrocinador	Item final do projeto sem nenhuma utilidade

(a)

Probabilidade	Ameaças				
0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72
0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56
0,50	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40
0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24
0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08
Impacto	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80

(b)

Figura 3.26 – (a) Tabela de Escalas de Impacto em Objetivos do Projeto e (b) Matriz de Probabilidade e Impacto. Adaptado de [2].

Os principais riscos levantados para esse projeto são listados a seguir:

1. Velocidade do vento maior que 10 m/s (valor utilizado para dimensionar esforços);

2. Elevada umidade e/ou quantidade de precipitação (chuva);
3. Chuva de granizo;
4. Grande e rápida variação de temperatura;
5. Raio (descarga elétrica);
6. Interferência magnética do motor;
7. Interrupção no fornecimento de energia elétrica;
8. Incêndio;
9. Deformação da estrutura (mecanismo + antena);
10. Ressonância da estrutura;
11. Falha de peça durante operação;
12. Problemas na compra e/ou fabricação de peças;
13. Curto-circuito ou queima de componente durante operação;
14. Falha sensor de fim de curso;
15. Falha na comunicação (PC remoto e microcontrolador embarcado);
16. Falha no controle;
17. Ruídos;
18. Choque elétrico;
19. Falha no isolamento durante operação (colisão com pessoa).

Adiante (tabela 3-16) é feita a classificação dos riscos em relação a cada objetivo do projeto, utilizando-se a Matriz de Probabilidade de Impacto.

Tabela 3-16

Risco	Probabilidade	Custo		Tempo		Escopo		Qualidade	
		Impacto	Classificação	Impacto	Classificação	Impacto	Classificação	Impacto	Classificação
1	0,5	0,8	Alto	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,4	Médio
2	0,9	0,2	Médio	0,1	Médio	0,05	Baixo	0,4	Alto
3	0,7	0,2	Médio	0,1	Médio	0,05	Baixo	0,2	Médio
4	0,7	0,4	Alto	0,1	Médio	0,05	Baixo	0,2	Médio
5	0,7	0,4	Alto	0,1	Médio	0,05	Baixo	0,2	Médio
6	0,5	0,4	Médio	0,1	Baixo	0,05	Baixo	0,4	Médio
7	0,7	0,1	Médio	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,2	Médio
8	0,5	0,2	Médio	0,1	Baixo	0,05	Baixo	0,8	Alto
9	0,3	0,2	Médio	0,1	Baixo	0,05	Baixo	0,4	Médio
10	0,1	0,4	Baixo	0,1	Baixo	0,05	Baixo	0,8	Médio

11	0,3	0,2	Médio	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,4	Médio
12	0,5	0,4	Médio	0,8	Alto	0,1	Baixo	0,1	Baixo
13	0,5	0,2	Médio	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,1	Baixo
14	0,3	0,4	Médio	0,1	Baixo	0,05	Baixo	0,4	Médio
15	0,5	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,4	Médio
16	0,3	0,2	Médio	0,2	Médio	0,4	Médio	0,8	Médio
17	0,7	0,1	Médio	0,1	Médio	0,05	Baixo	0,4	Alto
18	0,5	0,1	Baixo	0,1	Baixo	0,05	Baixo	0,8	Alto
19	0,1	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,05	Baixo	0,8	Médio

Analisando as tabelas anteriores determina-se como riscos de importância e que devem ser tratados de alguma forma: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 16, 17 e 18.

Para uma velocidade do vento maior que 10 m/s, ou seja, um torque exigido maior do que o utilizado para o dimensionamento mecânico, tem-se que considerar o tipo de motor (por exemplo: DC utilizaria uma corrente cada vez mais alta e o de passo simplesmente perderia o passo) e as peças. Uma solução para este problema é simplesmente soltar o sistema, deixando-o se mover conforme o vento.

Visto que será um sistema alocado em espaço aberto e sujeito às condições climáticas, deve-se projetar um isolamento da parte elétrica e eletrônica embarcada de modo a não sofrer com intempéries como elevada umidade e/ou quantidade de precipitação (chuva), grande variação de temperatura e raios (descargas elétricas). Além disso, sensores de umidade e temperatura são úteis para monitorar as condições na parte eletrônica, onde as variações desses parâmetros têm consequências mais críticas.

A interferência magnética causada pelo motor deve ser determinada nos sensores utilizados e dependendo dos resultados obtidos pode-se tomar uma medida protetiva.

Para a interrupção no fornecimento de energia elétrica cogita-se a utilização de um no-break (tipo um minigerador). Deve-se ter, também, a possibilidade de se mover manualmente a antena e de travar e destravar o mecanismo. Nessa última aplicação podem-se ter travas mecânicas e magnéticas.

No tangente a risco de incêndio e choque elétrico seguir-se-á as normas estabelecidas pela Resolução nº 529 [19] (ver seção 3.5).

A deformação da estrutura (mecanismo + antena) existirá de qualquer forma, mas para antenas relativamente pequenas, podem ser desconsideradas [5]. Para evitar a falha de peça durante operação deve fazer um bom projeto mecânico com peças bem dimensionadas.

Problemas na compra e/ou fabricação de peças devem ser previstos no cronograma e considerados durante o desenvolvimento do projeto mecânico na forma de várias alternativas, inclusive mantendo em mente a manutenção futura dos mecanismos.

Para a falha no sensor de fim de curso (elétrico) pode-se ter esbarros mecânicos e freios para o eixo de elevação (único que terá esse tipo de sensor). Para a falha na comunicação (PC remoto e microcontrolador embarcado) deve-se fazer um bom projeto eletrônico visando eliminar sua ocorrência.

A falha no controle da antena pode ser ocasionada por diversos fatores (comunicação controlador-*drivers*, erro no microcontrolador, perda de passo, etc.) e sua prevenção e contenção são altamente recomendadas. Para tanto serão implementadas algumas alternativas, inclusive um botão de emergência local. Os ruídos (elétricos) também podem ser causa de um controle incorreto e devem-se utilizar filtros.

Esta análise foi feita para levantar aspectos que inspiram atenção durante a fase de projeto. Para se obter alta confiabilidade foram adotados sistemas (físicos, elétricos ou eletrônicos) de modo a gerar redundâncias, que são apresentados na tabela 4-1. Cada um desses sistemas e dispositivos de prevenção e controle de riscos será exposto na seção 4 referente ao subsistema no capítulo de detalhamento das soluções.

4. PROJETO FINAL

4.1 Principais Componentes

Arani é uma palavra de origem tupi guarani que significa tempo furioso e nomeia o dispositivo desenvolvido. O posicionador Arani tem a capacidade de apontamento orientando-se ao longo de seus dois eixos: eixos de azimuth e de elevação.

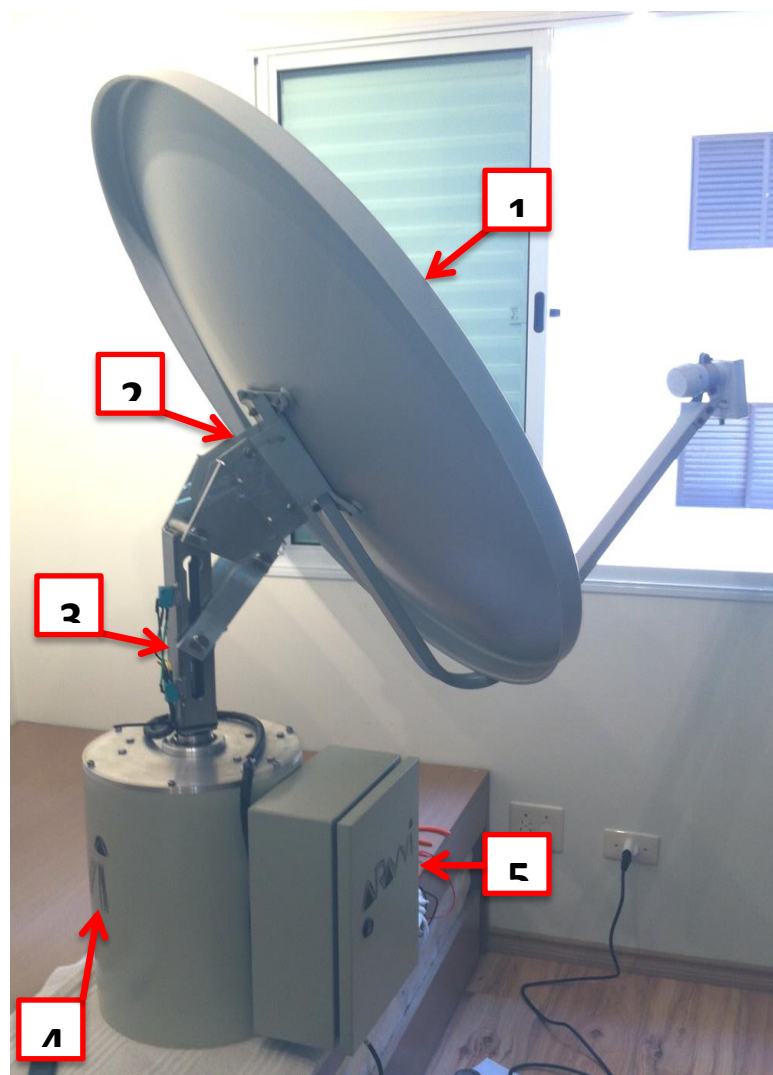


Figura 4.1 - Protótipo final.

A figura 4.1 apresenta o dispositivo e seus componentes:

1 – Antena Parabólica: o posicionador Arani foi projetado para apontar Cornetas e Antenas Parabólicas no espaço, direcionando assim esses dispositivos para coleta de dados atmosféricos. Na figura 4.1, como exemplo, pode-se observar uma antena parabólica acoplada para ser posicionada.

2 – Adaptador para Antena Parabólica: o conceito de adaptador para sensor permite que o posicionador seja utilizado com diversos sensores, conferindo assim ao posicionador flexibilidade e inclusive a possibilidade de ser utilizado com diversos tipos de simultaneamente.

Os componentes 1 e 2 podem ser substituídos de acordo com o interesse do utilizador.



Figura 4.2 - Adaptador para acoplamento da antena parabólica.

Na figura 4.2 pode-se observar um adaptador para parabólica desenvolvido. Ele é fixado às duas barras do mecanismo responsável pelo grau de liberdade de elevação, fazendo com que o sensor utilizado gire solidário ao posicionador. Desse mesmo modo podem ser

desenvolvidos outros adaptadores para um ou mais sensores simultâneos, parabólicas e radares.

3 – Eixo Principal Mecânico: o eixo principal é responsável pelos movimentos de azimute e elevação. Ele possui uma guia interna que é responsável pelo acionamento linear do mecanismo de elevação (tipo biela-manivela), enquanto sua parte externa permite o giro do mecanismo fornecendo assim o eixo de azimute.

A figura 4.3 mostra todo o módulo mecânico montado.

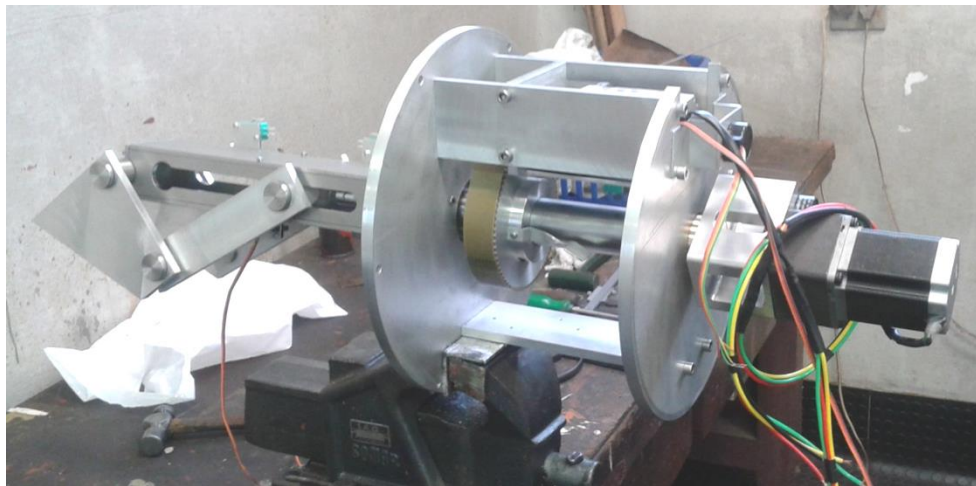


Figura 4.3 - Eixo principal mecânico.

4 – Corpo do Dispositivo: é constituído de um perfil tubular de PVC com espessura de parede de 15mm. Ele é utilizado pela resistência mecânica, leveza em relação aos materiais metálicos e resistência às intempéries. O módulo mecânico é encaixado dentro do corpo, permitindo assim um *design* simples e que permite elevada vedação para uso em ambientes agressivos.

Na figura 4.4 é apresentado o corpo do dispositivo, os 4 furos de fixação da caixa e os 3 furos centrais para passagem de cabos do dispositivo.



Figura 4.4 - Corpo do dispositivo.

5 – Caixa de Comando: o hardware dedicado encontra-se dentro da caixa de comando e atrelado a estrutura mecânica (sensores e motores).

A caixa de comando agrega todo o *hardware* necessário para operação do dispositivo. O posicionador foi projetado para funcionar somente utilizando o cabo de alimentação elétrica e mais nenhum outro, prezando desse modo pela mobilidade. A figura 4.5 apresenta uma vista da caixa com o *hardware*.



Figura 4.5 - Caixa de comando.

4.2 Interface Homem-Máquina

O software da Interface Homem-Máquina necessita de um computador com Java instalado para sua execução, e através dele pode-se interagir com o dispositivo.

A figura 4.6 mostra a janela inicial da IHM. Abaixo do logo à esquerda tem-se duas partes fixas da janela, as seções de "Monitoramento" e "Sensores". Elas têm como objetivo mostrar o status do sistema a todo instante. Abaixo da parte de abas, existe outra seção fixa, que apresenta mensagens e alertas. A primeira aba, "Conexão", serve para configurar a comunicação wireless entre o PC e o dispositivo e possui os seguintes campos:

- **Porta Comando:** responsável pelo envio de comando e recebimento de resposta do dispositivo, configuração de varredura, etc. O valor da porta deve ser 6051.
- **Porta Monitoramento:** recebe o estado do dispositivo a cada segundo. O valor da porta deve ser 6505.

- **Porta Alertas:** recebimento de alertas do dispositivo ou alarmes de mal funcionamento. O valor da porta deve ser 6010.
- **Servidor (endereço IP):** conexão pela rede *wireless* do dispositivo "AraniStorm" com endereço padrão igual a 192.168.1.1.
- Botão "Conectar": enviar valores de configuração e estabelecer a comunicação.
- Tela de status dos canais de comunicação: mostra se a comunicação está estabelecida (✓) ou não (✗).

Os canais de Monitoramento e Alarmes são unidirecionais, sendo que a IHM atua como cliente só recebendo dados desses canais. O canal de Comando é bidirecional e a IHM atua ativamente, enviando requisições e recebendo as respectivas respostas.

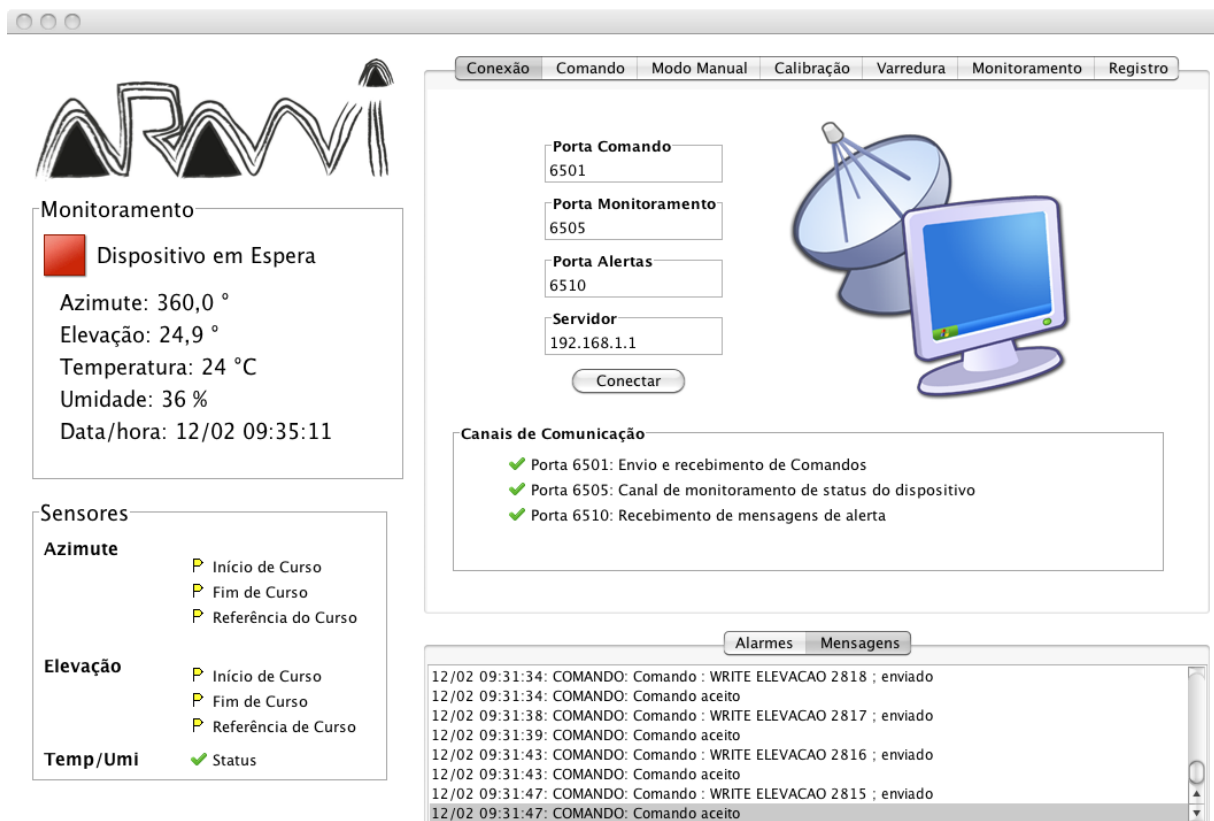


Figura 4.6 – Tela "Conexão" da IHM.

A figura 4.7 mostra a aba "Comando", onde pode-se optar pelo modo manual ou automático. Mostra também os estados em que o sistema pode se encontrar (Manual, Espera, Executando e Pausado).

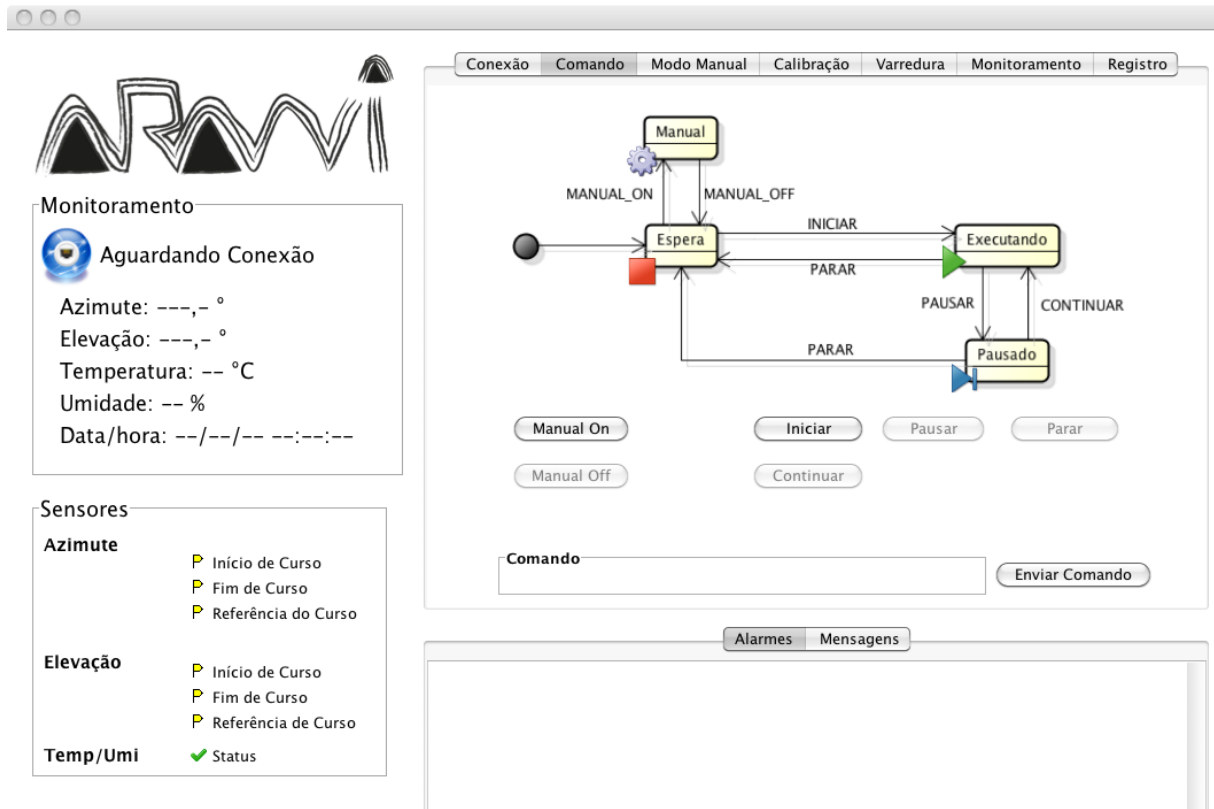


Figura 4.7 – Tela "Comando" da IHM.

A figura 4.8 mostra a aba "Modo Manual", por meio da qual pode-se enviar o sistema para uma determinação posição em ângulos de azimute e elevação ou também pode-se dar o comando de jog (incremental) em cada eixo, com uma determinada velocidade.



Figura 4.8 – Tela "Modo manual" da IHM.

A figura 4.9 mostra a aba "Varredura" onde é possível configurar o tipo de varredura, intervalos de operação em ambos os eixos, velocidade de operação e pré-visualizar a varredura em si.

- Configurações de varredura
 - Parâmetros Azimute: Valores mínimo e máximo (intervalo: faixa máxima de 0 a 360°) e passo (valores maximo e minimo);
 - Parâmetros Elevação: Valores mínimo e máximo (intervalo: faixa máxima de 0 a 90°) e passo (valores maximo e minimo);
 - Velocidade de operação;
 - Número de repetições: quantas repetições da varredura deverão ser feitas;
 - Botão "Configurar Varredura": enviar os valores configurados pelo usuário;
 - Botão "Ajuda com Varreduras": pressionando esse botão, o usuário poderá visualizar a figura correspondente à varredura selecionada.

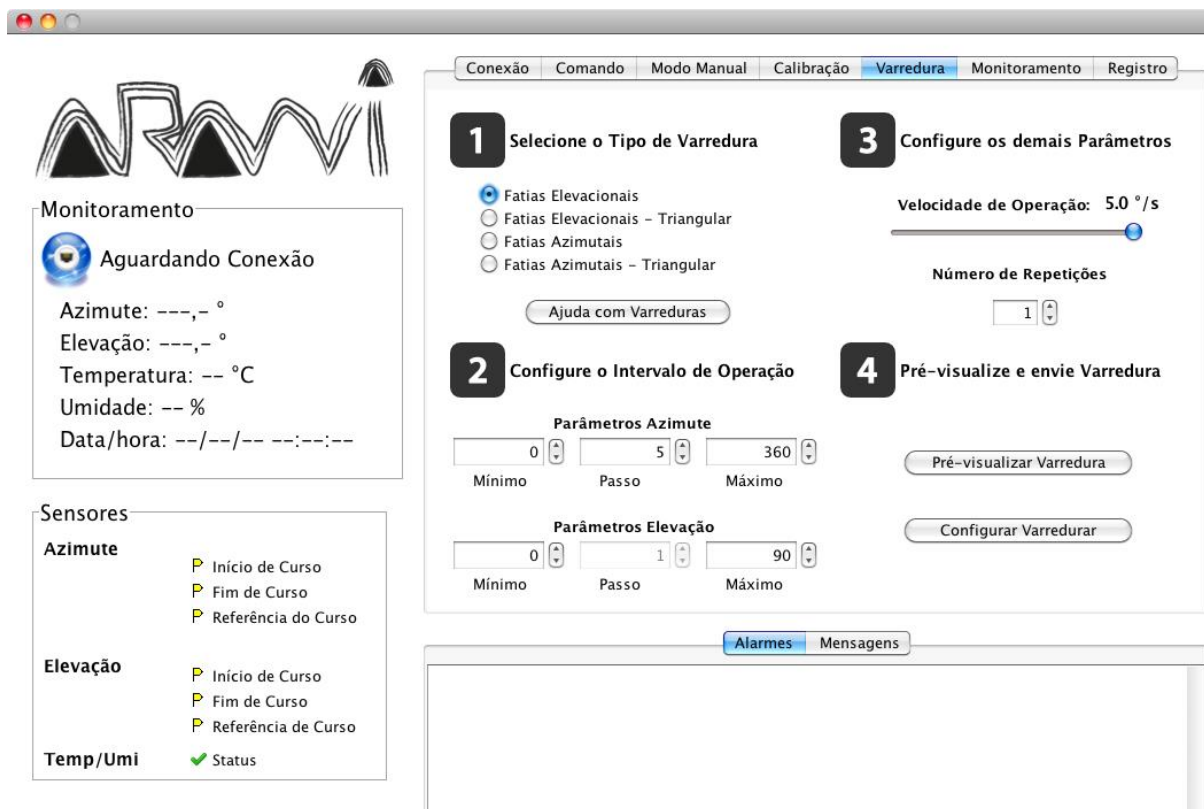


Figura 4.9 – Tela "Varredura" da IHM.

A figura 4.10 mostra os esquemas das varreduras programadas. Essas imagens ficam visíveis quando o usuário clica no botão "Ajuda com Varreduras". Um dos requisitos de projeto era que o sistema executasse alguns tipos de varreduras de modo automático, conforme parâmetros configurados pelo usuário.

- Tipos de varreduras:
 - Fatias Elevacionais: definem-se os intervalos de azimute e elevação; o sistema se posicionará nas menores coordenadas de azimute e de elevação e, a partir daí, percorrerá todo o intervalo de elevação com o passo mínimo e a coordenada de azimute fixa. Seguirá então com passo de azimute configurado pelo usuário. O dispositivo executará a trajetória mostrada na figura 4.10 até que atinjam as maiores coordenadas de azimute e de elevação.
 - Fatias Elevacionais - Triangular: definem-se os intervalos de azimute e elevação; o sistema se posicionará nas menores coordenadas de azimute e de elevação e, a partir daí, percorrerá todo o intervalo de elevação com o passo mínimo e com passo de azimute configurado pelo usuário. O dispositivo executará a

trajetória mostrada na figura 4.10 até que atinjam as maiores coordenadas de azimute e de elevação.

- **Fatias Azimutais:** definem-se os intervalos de azimute e elevação; o sistema se posicionará nas menores coordenadas de azimute e de elevação e, a partir daí, percorrerá todo o intervalo de azimute com o passo mínimo e a coordenada de elevação fixa. Seguirá então com passo de elevação configurado pelo usuário. O dispositivo executará a trajetória mostrada na figura 4.10 até que atinjam as maiores coordenadas de azimute e de elevação.
- **Fatias Azimutais - Triangular:** definem-se os intervalos de azimute e elevação; o sistema se posicionará nas menores coordenadas de azimute e de elevação e, a partir daí, percorrerá todo o intervalo de azimute com o passo mínimo e com passo de elevação configurado pelo usuário. O dispositivo executará a trajetória mostrada na figura 4.10 até que atinjam as maiores coordenadas de azimute e de elevação.

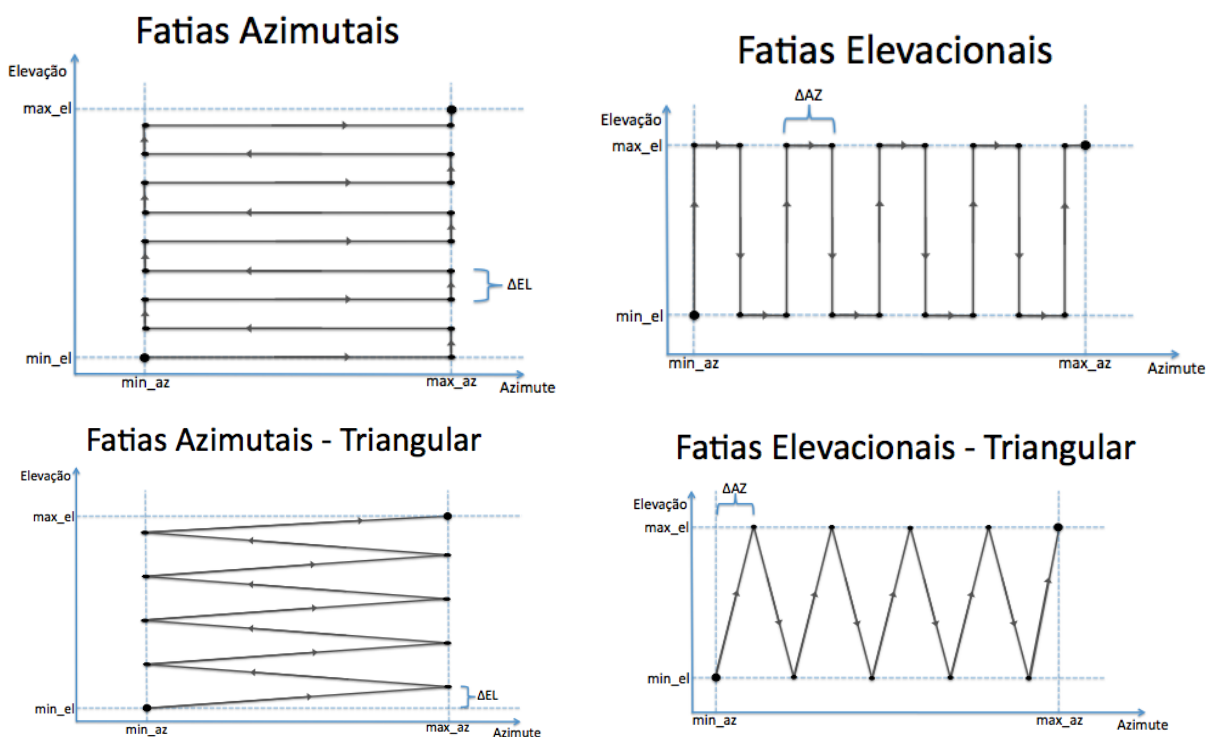


Figura 4.10- Figuras do botão "Ajuda com varreduras".

As figuras 4.11, 4.12 e 4.13 mostram a aba "Monitoramento" onde é possível acompanhar a evolução em tempo real de três gráficos: Azimute vs. Elevação, Velocidade em função do tempo ou Temperatura e Umidade vs. tempo.

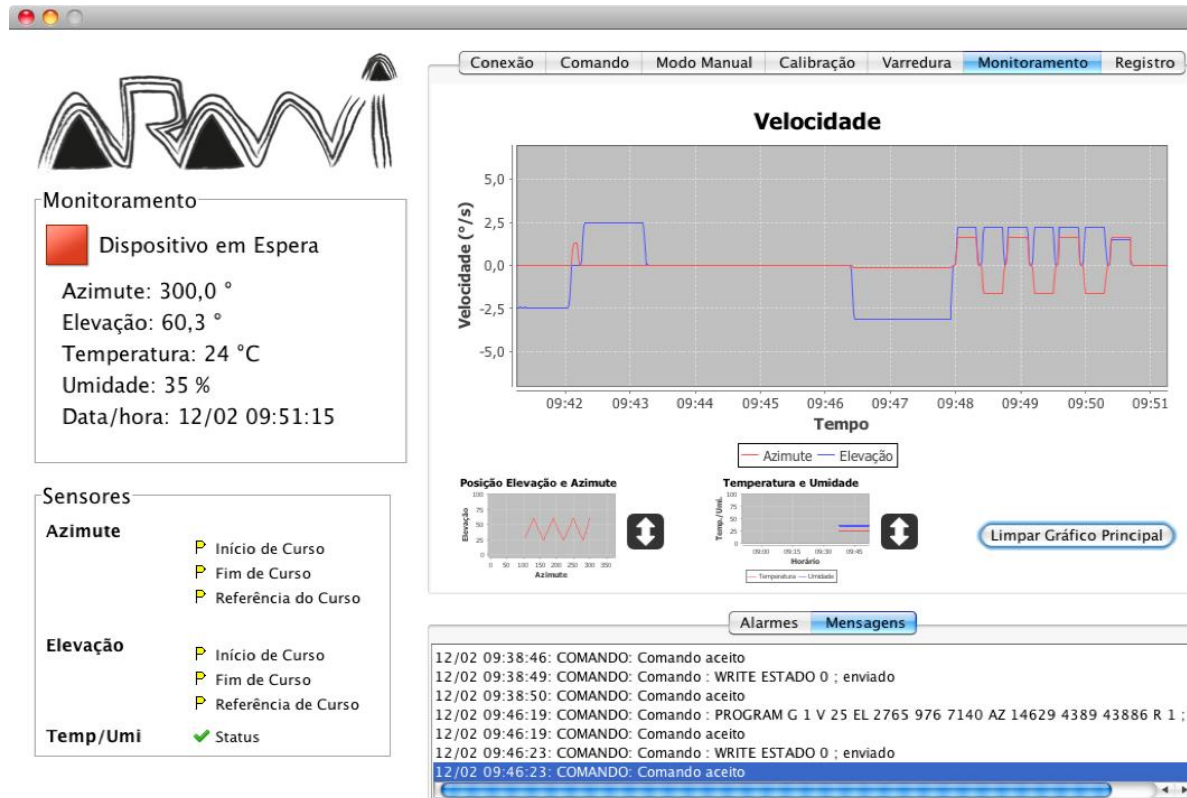


Figura 4.11 - Gráfico da velocidade: azimute em vermelho e elevação em azul.

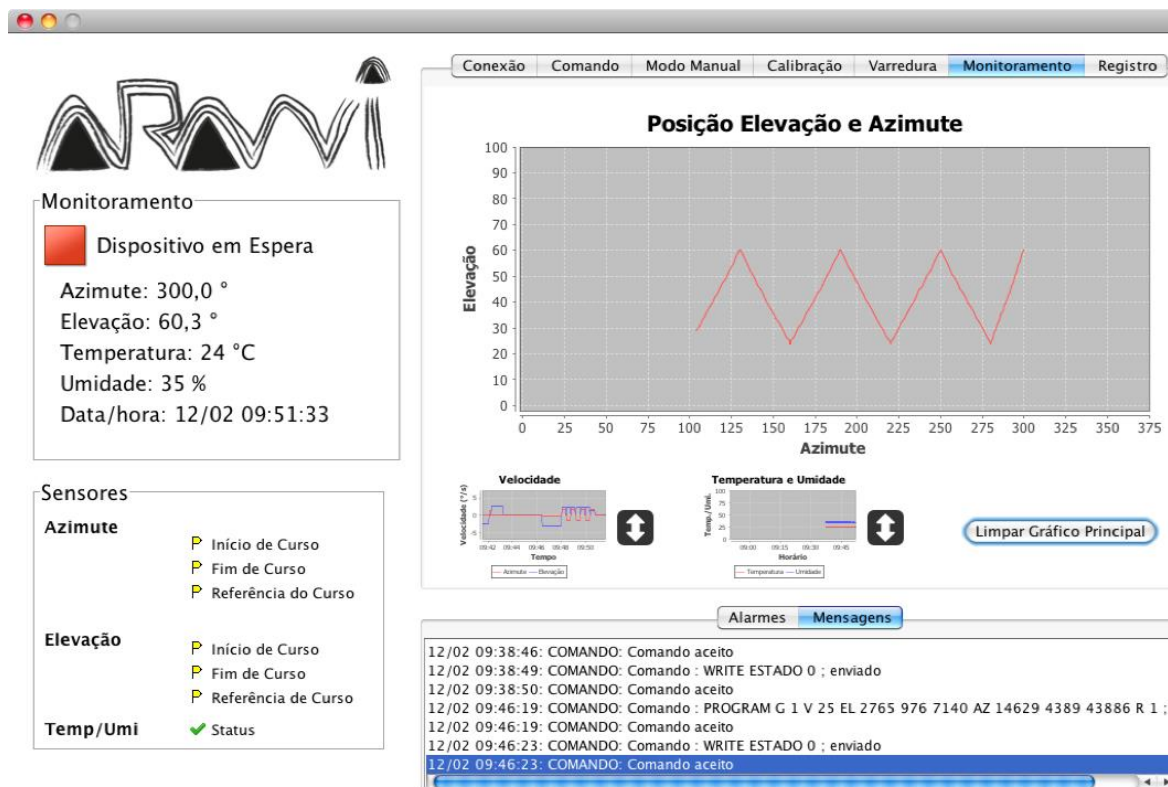


Figura 4.12 - Gráfico de uma varredura Fatia Elevacional - Triangular.

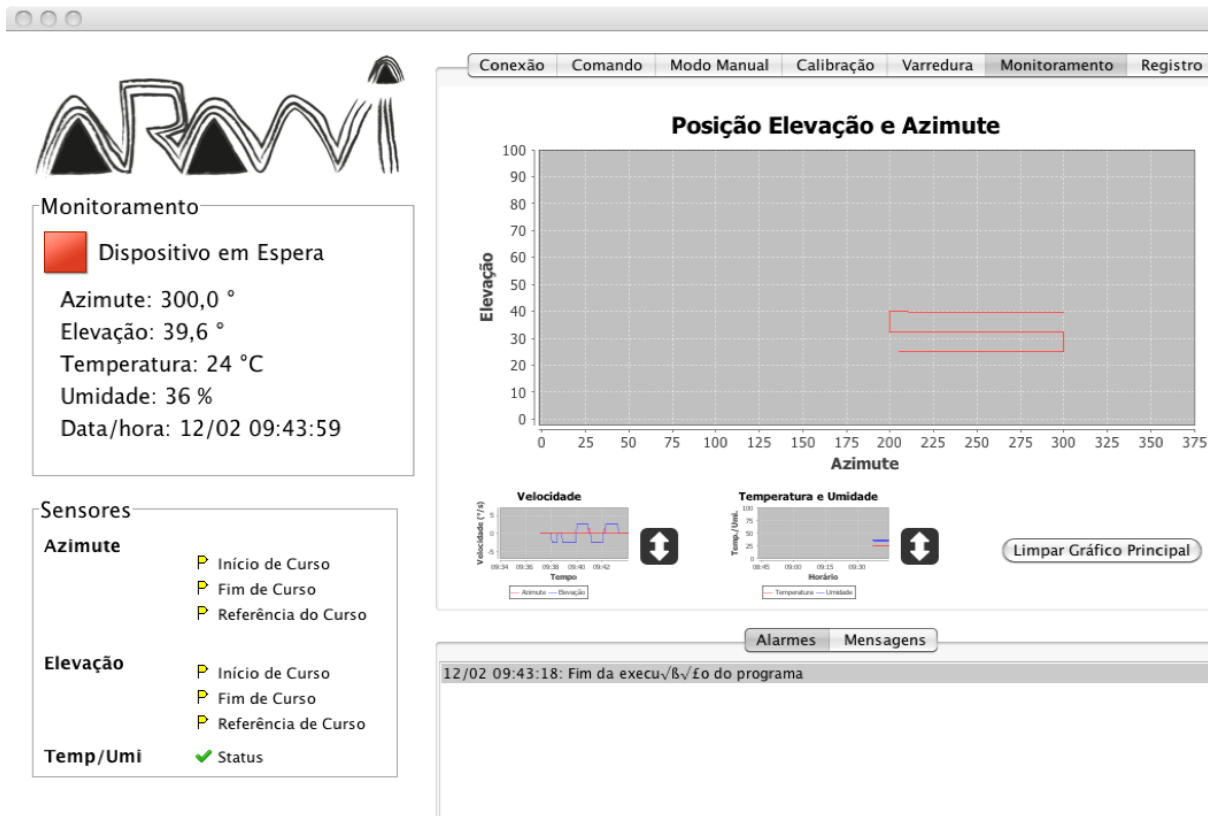


Figura 4.13 – Gráfico de uma varredura Fatia Azimutal.

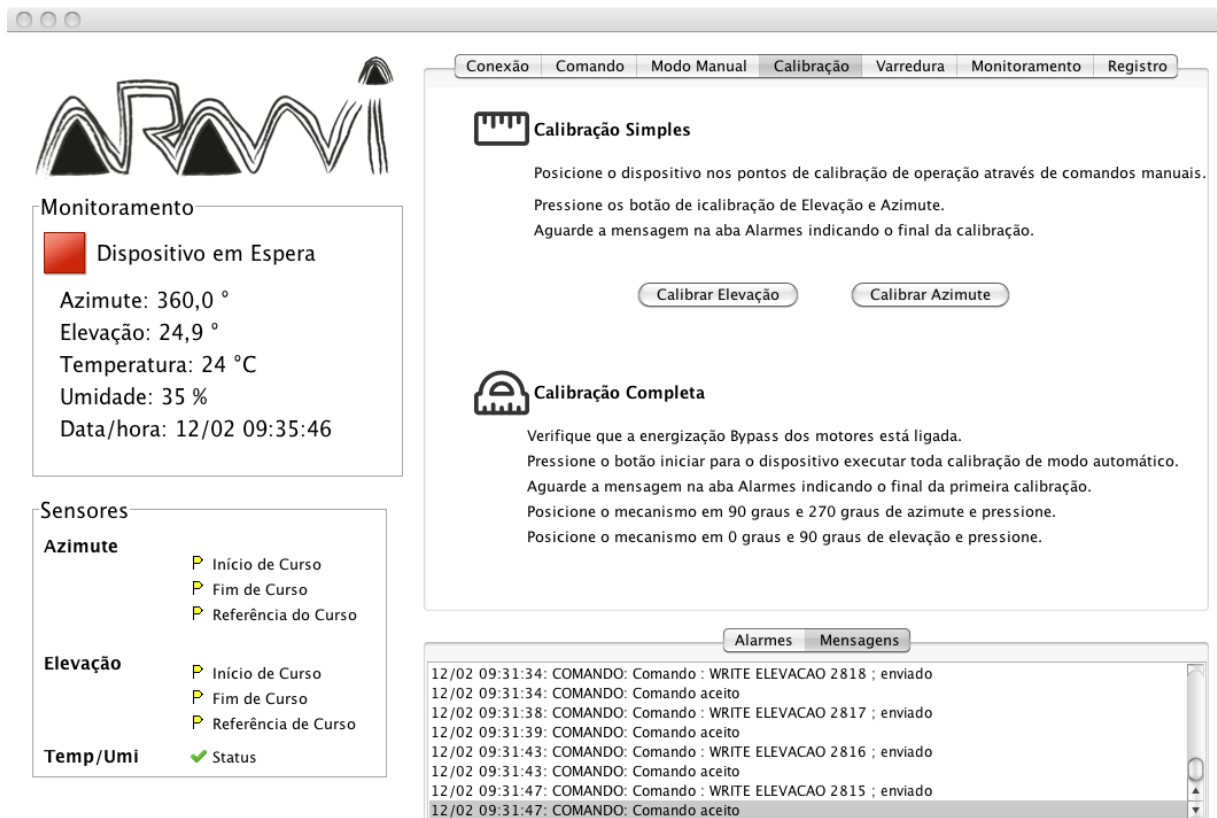


Figura 4.14 - Tela "Calibração" da IHM.

A figura 4.14 mostra a tela de calibração do sistema de posicionamento. Existem dois sensores ópticos, um posicionado em cada eixo. Antes de configurar uma varredura, o usuário deve levar o sistema manualmente até esses pontos de modo a calibrar o dispositivo.

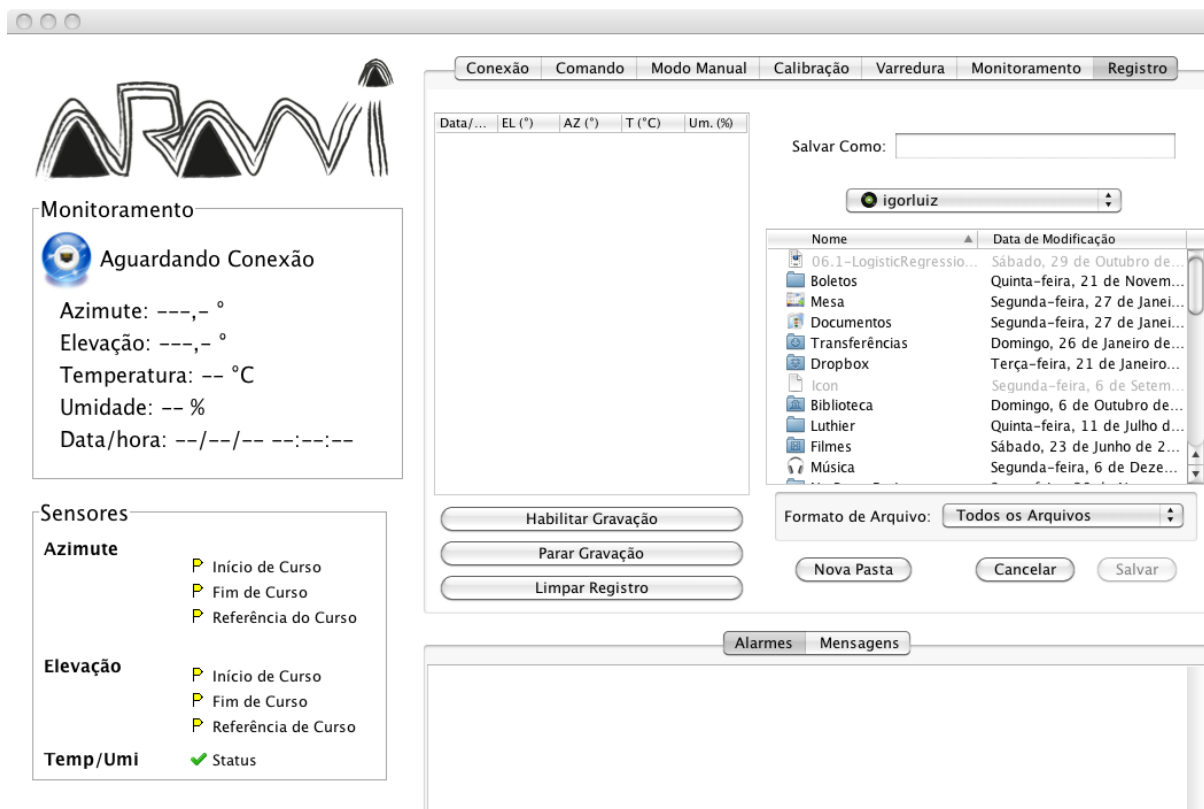


Figura 4.15 - Esquema da IHM (6).

A figura 4.15 mostra a aba "Registro" onde é possível salvar um arquivo de log (.txt) no qual estão presentes as informações por data e horário: posição em azimuth e elevação e temperatura e umidade.

4.3 Verificação de requisitos

Quanto aos requisitos definidos na tabela 3-1:

- Precisão de posicionamento: 1°
- Intervalo de elevação: -10° a 92°
- Intervalo de azimuth: -1° a 360° (O intervalo de azimuth vai de -1° a 360° e depois volta para -1°)
- Portabilidade: o dispositivo ficou com um peso final de 26 kg, permitindo e facilitando, portanto, sua portabilidade e futura fixação no teto de um trailer. A antena acoplada utilizada possui 1 metro de diâmetro e aproximadamente 5 kg.

- Flexibilidade: podem ser acoplados equipamentos de até 10 kg e que proporcionem um braço máximo de 30 cm.
- Embarcabilidade: inicialmente esperava-se utilizar uma comunicação via ethernet devido a ruídos e interferência dos motores, porém, a tentativa com uma rede sem fio se mostrou bem sucedida, sendo então adotada por auxiliar na supressão de um cabo.
- Preço: ficou-se abaixo do orçamento máximo de R\$ 10.000,00.
- Repetibilidade atende satisfatoriamente aos requisitos do projeto dado suas limitações mecânicas atuais (folgas mecânicas).

4.4 Mitigação de riscos

Após a primeira análise de riscos realizada na seção 3.7, foram selecionados alguns riscos que, se acreditava, precisavam de medidas de prevenção. Então, foi realizada uma análise mais profunda e para os riscos com * na coluna de "Medida tomada" chegou-se à conclusão de probabilidade real muito baixa ou efeito real muito pequeno.

Tabela 4-1

Risco	Medida tomada
Velocidade do vento maior que 10 m/s (valor utilizado para dimensionar esforços)	a) Motor de passo e sistema solto (mecanicamente) b) Uso de Radome externo
Elevada umidade e/ou quantidade de precipitação (chuva)	a) Caixa da eletrônica proteção IP54 b) Sensor de Temperatura e Umidade
Chuva de granizo	a) Uso de Radome externo
Grande e rápida variação de temperatura;	a) Sensor de Temperatura e Umidade
Raio (descarga elétrica)	a) Utilizar Aterramento adequado
Interferência magnética do motor	a) Desacoplamento de fontes de energia e optoacoplamento dos sinais compartilhados
Interrupção no fornecimento de energia elétrica	Não há suporte para falta de energia elétrica
Incêndio	a) Monitoramento da temperatura interna e

	dispositivo isolado da caixa de comando de maneira estanque. b) Utilização de fusível para evitar focos de incêndio frutos de sobrecarga elétrica.
Deformação da estrutura (mecanismo + antena)	a) Desprezada para precisão requerida, esforços associados e sensoriamento empregado.
Falha de peça durante operação	a) Dimensionamento de esforços das peças do projeto mecânico que demonstrou superdimensionamento dos componentes mecânicos.
Problemas na compra e/ou fabricação de peças	a) Desenhos de fabricação de todas as peças, logo, podem ser replicadas
Falha sensor de fim de curso	a) Em caso de falha única há o corte de energia. b) Caso a falha seja dupla existe o limite mecânico do eixo de elevação, além de limite , por software, da excitação de pulsos do motor.
Falha no controle	a) Chaves de fim de curso de corte de energia e comando de parar na IHM.
Ruídos	Testes mostraram baixa influência de ruídos nas comunicações com sensores e rede sem fio, além de baixa interferência da operação dos motores no hardware embarcado.
Choque elétrico	a) Aviso no manual para operação do dispositivo por pessoas treinadas para tal e utilização de aterramento adequado.

4.5 Fotos do protótipo final



Figura 4.16 - Sistema posicionador ARANI montado.



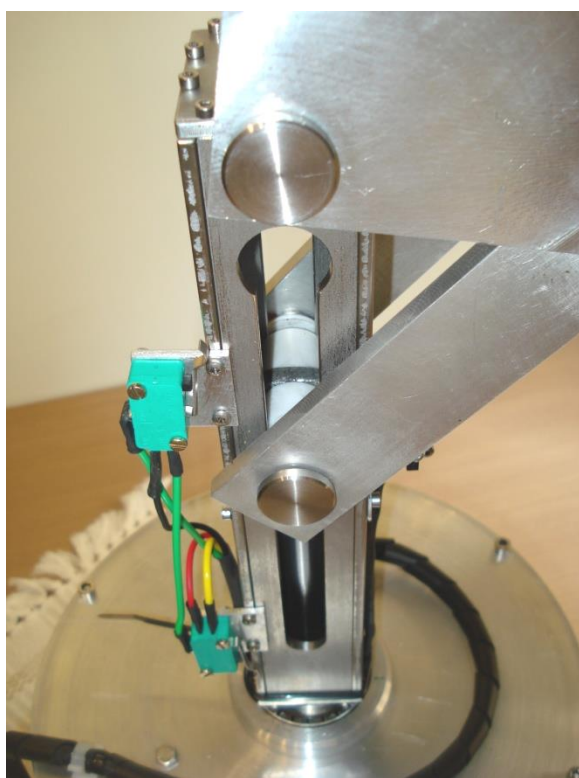
Figura 4.17 - Foto do protótipo com antena.



Figura 4.18 - Foto do protótipo com antena.



Figura 4.19 - Foto do protótipo com antena.



(a)



(b)

Figura 4.20 - Detalhes do sistema posicionador: a) eixo de elevação e sensores de fim de curso; b) peça adaptadora para acoplar a antena.

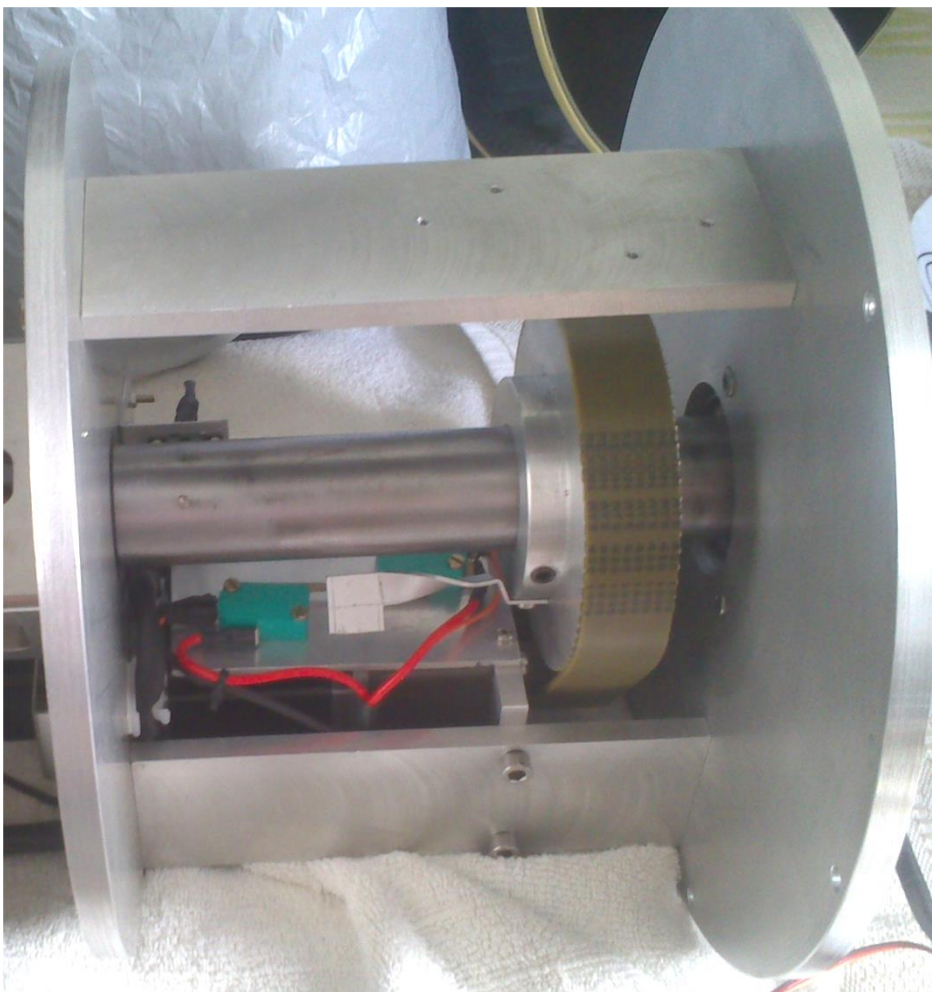


Figura 4.21 - Detalhe para os sensores de fim de curso do eixo de azimute.

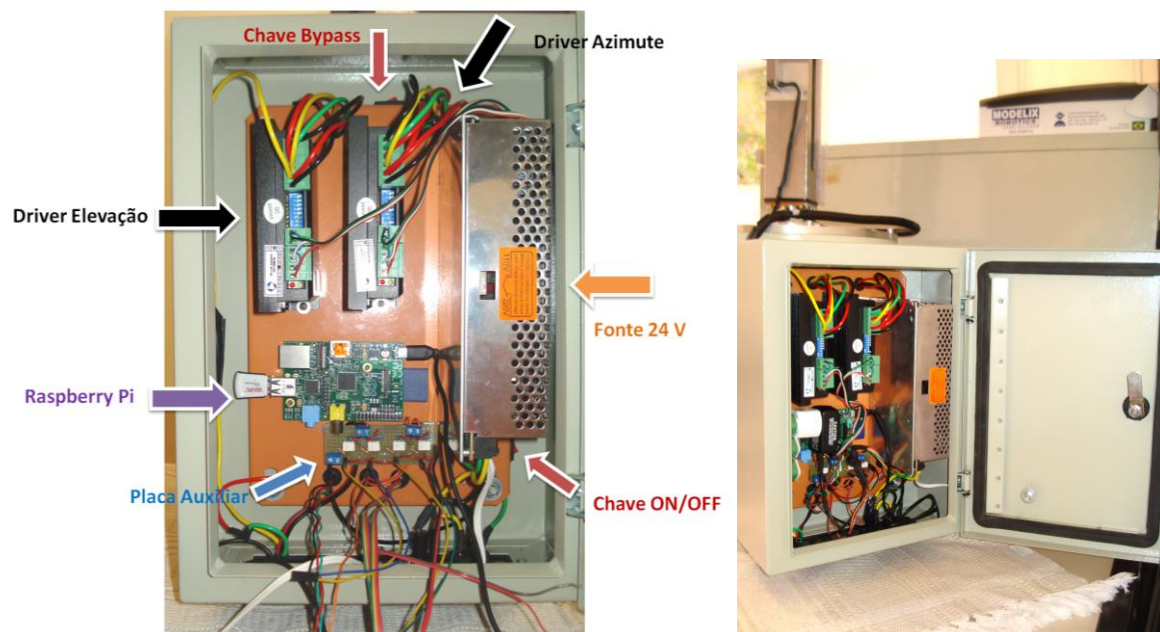


Figura 4.22 - Caixa da eletrônica.

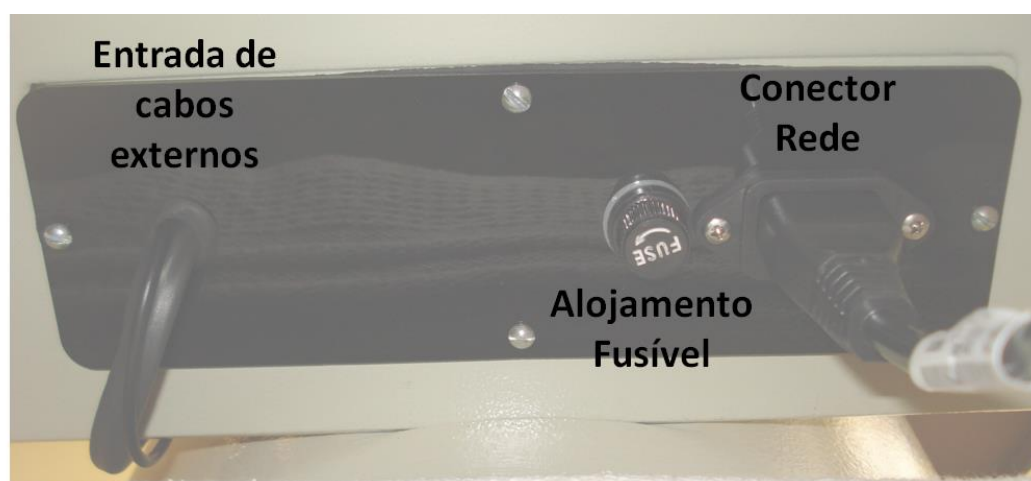


Figura 4.23 - Conexões embaixo da caixa de comando

5. TESTES

Foram conduzidos testes básicos de repetibilidade para ambos os eixos e os resultados são apresentados na seção 5.1 e 5.2 deste capítulo..

5.1 Azimute

Para o eixo de azimute foi posicionado um transferidor em torno do eixo (figura 5.1) de modo a inspecionar a posição de um marcador e avaliar a repetibilidade deste eixo.

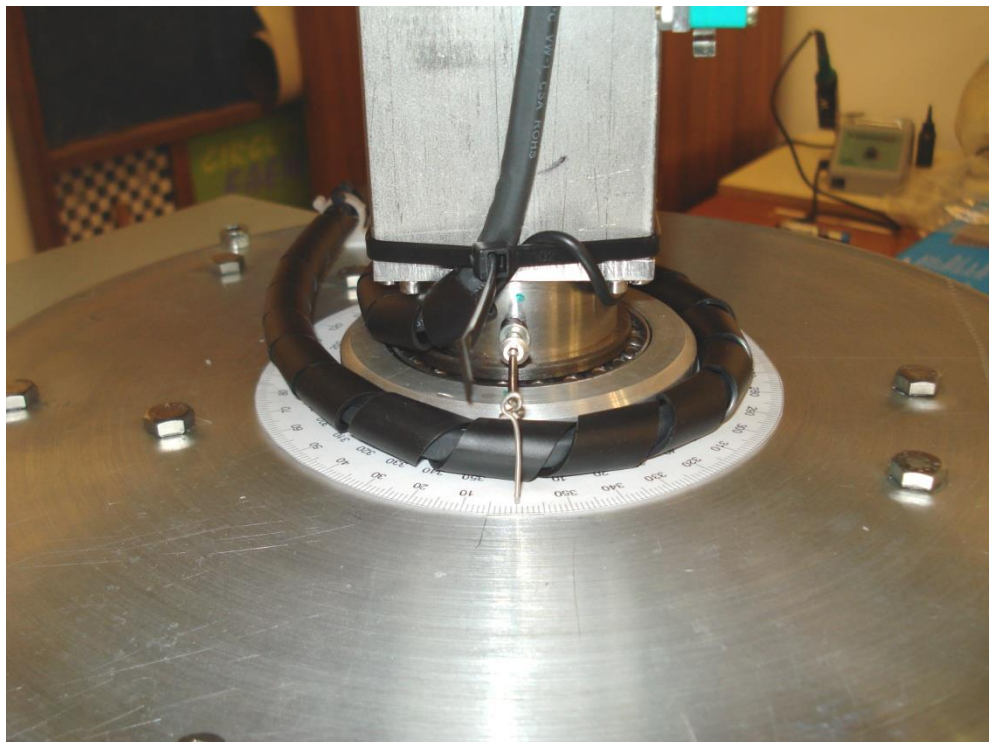


Figura 5.1 - Transferidor posicionado em torno do eixo de azimute para realização de testes.

Foram realizados dez testes nos quais o dispositivo deveria ir de 0 (Posição 1) a 90° (Posição 2), de 90° a 180° (Posição 3) e então de volta ao 0. A velocidade utilizada foi de 2°/s. Na tabela 5-1 estão os dados coletados dos testes. As colunas "Medida" são os dados obtidos a partir do transferidor e as colunas "IHM" são os dados lidos da IHM (*encoder*).

Tabela 5-1

Teste	Posição 1		Posição 2		Posição 3		Volta	
	Medida	IHM	Medida	IHM	Medida	IHM	Medida	IHM
1	0	0	88,5	89,9	170,5	179,9	0	0,2
2	0	0,2	88	89,9	170	179,9	0	0,1
3	0	0,1	88	89,9	170	179,9	0	0,1
4	0	0,1	85	89,9	170,5	179,9	0,1	0
5	0,1	0	86	89,9	170,5	179,9	0	0,1
6	0	0,1	85,5	89,9	170,5	179,9	0,75	0
7	0,75	0	87,5	89,9	170,5	179,9	0	0,1
8	0	0,1	87	89,9	171	179,9	1	0,1
9	1	0,1	85	89,9	171	179,9	0	0,1
10	0	0,1	85	89,9	170,5	180	0	0,1

Média	0,185	0,08	86,55	89,9	170,5	179,91	0,185	0,09
Desvio padrão	0,36972	0,06325	1,40337	0	0,33333	0,03162	0,36972	0,05676



Figura 5.2 - Posição 1 do teste de repetibilidade do eixo azimutal.



Figura 5.3 - Posição 2 do teste de repetibilidade do eixo azimutal.



Figura 5.5 - Posição 3 do teste de repetibilidade do eixo azimutal.

A partir do teste realizado comprovou-se a repetibilidade do eixo de azimute com desvios associados de aproximadamente 1,5 e 0,33 graus para cursos de 90 e 180 graus respectivamente. Os motivos do maior desvio para cursos menores são: folga na transmissão por correia no eixo azimutal e erro de desvio de leitura do operador (± 1 grau).

5.2 Elevação

Para o eixo de elevação foi posicionada uma régua ao longo do eixo (figura 5.6) de modo a inspecionar a posição de um marcador e avaliar a repetibilidade deste eixo.



Figura 5.6 - Régua posicionada no eixo de elevação para realização de testes.

Foram realizados dez testes nos quais o dispositivo deveria ir de 9,5 cm (Posição 1) a 18,8 cm (Posição 2), e então de volta a 9,5 cm. A velocidade utilizada foi de 1°/s. Na tabela 5-2 estão os dados coletados dos testes. As colunas "Medida" são os dados obtidos a partir do transferidor e as colunas "IHM" são os dados lidos da IHM (encoder). A posição inicial do teste não é contabilizada pois o cálculo deve ser feito sobre as posições atingidas pelo posicionador, e não uma posição atingida em modo manual de operação para início dos testes.

Tabela 5-2

Teste	Posição 1		Posição 2		Volta	
	Medida	IHM	Medida	IHM	Medida	IHM
1	9,5	29,8	18,8	81,4	9,2	28,9
2	9,2	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9
3	9,2	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9
4	9,2	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9
5	9,2	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9
6	9,2	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9
7	9,2	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9
8	9,2	28,9	18,8	81,4	9,1	28,9
9	9,1	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9
10	9,2	28,9	18,8	81,4	9,2	28,9

Média	9,189	28,99	18,8	81,4	9,19	28,9
Desvio padrão	0,0333	0	0	0	0,0316	0

A partir do teste realizado comprovou-se altíssima repetibilidade do eixo de elevação com desvios da ordem de décimo de grau. Os baixos desvios estão associados a rigidez do eixo de elevação, que elimina grande parte das não linearidades de movimentação mecânica. Além desse fato, o eixo de elevação possui uma alta resolução de sensoriamento em seu posicionamento.

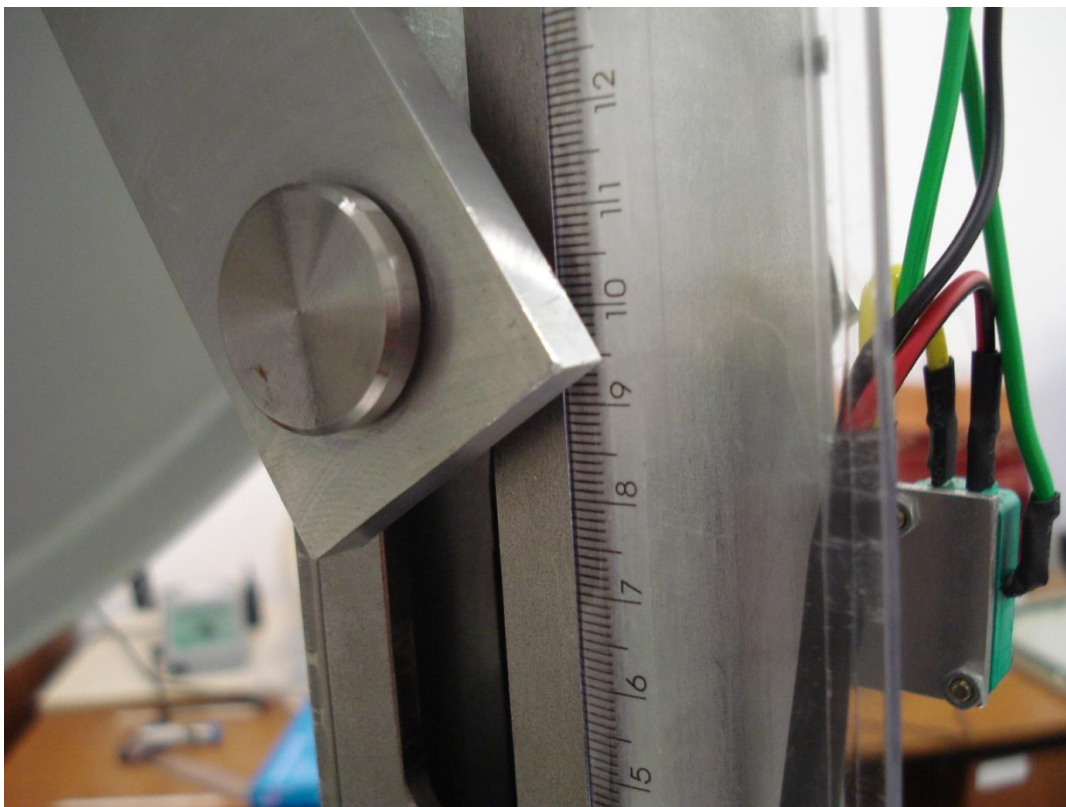


Figura 5.2 - Posição 1 do teste de repetibilidade do eixo elevacional.



Figura 5.3 - Posição 2 do teste de repetibilidade do eixo elevacional.

6. DISCUSSÕES

Tendo em vista a abrangência do projeto, nós realizamos revisões importantes sobre tecnologias consolidadas e recentes, no que se refere a radares e seu sistema de posicionamento, para o conhecimento e desenvolvimento do tema proposto pelo IAG-USP. Os dados mais recentes sobre o controle de posição de antena e sua modelagem, apresentando boas diretrizes de projeto, constam do acervo de Dissertações defendidas na Escola Politécnica da USP, principalmente, em 2006. Por meio do conteúdo bibliográfico e da definição dos requisitos do projeto junto ao IAG, fez-se um primeiro momento de discussões de ideias. Tudo isto levou-nos ao refinamento dos projetos básicos mecânico, de elétrica e eletrônica e de software. A partir daí, foi elaborada uma análise de riscos inerente ao planejamento, custo e operação de todas as etapas.

A realização do projeto básico do dispositivo demonstrou por meio da análise de esforços atuantes na estrutura e da análise de viabilidade, que os requisitos do projeto deveriam ser modificados. Os custos associados à construção do dispositivo com flexibilidade no uso de diâmetros de antenas (diâmetro máximo de 4 metros) eram elevados em virtude do custo associado aos acionamentos que seriam adquiridos para controlar a estrutura, compensando assim a ação do vento. Nesse contexto, o requisito de flexibilidade foi redefinido. O projeto final foi desenvolvido para operar com antenas de até 2 m de diâmetro, atuando em ambiente com velocidades do vento de até 10 m/s.

A primeira versão do projeto mecânico desenvolvido inicialmente era composto por dois eixos rotativos, no entanto, após uma reunião de revisão de design com o Prof. Oswaldo Horikawa foram apontados diversos pontos de melhoria e atenção para o sucesso do projeto. Um segundo projeto 3D foi desenvolvido buscando projetar peças com uma menor complexidade, bem como a utilização de componentes de fácil acesso para compra.

O segundo projeto mecânico foi desenvolvido utilizando um mecanismo de barras articuladas para fazer o posicionamento do eixo de elevação e a permanência de um eixo de rotação em azimute, que foi simplificado.

Após vários esforços, conseguimos as peças centrais para facilitar a construção do protótipo. Para o eixo central foi escolhido o uso de um mecanismo de abertura de portão de garagem. Este mecanismo é robusto, atua como uma guia linear, sendo adaptado para suportar condições climáticas adversas, bem como altos esforços estruturais.

O mecanismo que foi selecionado serve então como eixo rotativo para a coordenada de azimute, bem como guia linear para atuação no eixo de elevação do mecanismo. Após a aquisição da peça, o projeto mecânico novo pode ser desenvolvido. Para tal, foram levados em consideração as peças e os componentes já previamente selecionados, tais como: motores, encoders e etc.

O protótipo desenvolvido considerou também a particularidade do dispositivo trabalhar sob condições adversas, tais como chuva. A partir desse requisito, o projeto mecânico demandou atenção especial para que o produto final conseguisse atuar de maneira satisfatória sob tais circunstâncias. Por meio de soluções como vedação apropriada, previnem-se infiltrações no dispositivo, ou níveis de umidade elevada que poderiam danificar a eletrônica embarcada.

A eletrônica embarcada no dispositivo foi desenvolvida de acordo com o requisito de mobilidade, na qual o transporte tem que ser realizado de maneira fácil e com baixo ou nenhum tempo de configuração, com isso o posicionador precisa ser ligado somente à rede de energia para estar pronto para o uso.

Para o desenvolvimento do software embarcado foram observados possíveis pontos de atenção no que se referia à execução de rotinas temporizadas de leitura de sensores e execução de controle, pois o microcontrolador selecionado utiliza um sistema operacional Linux (Debian), que não é otimizado para trabalhar com aplicações em tempo real. Ainda hoje, são escassas as distribuições RTOS (Real Time Operating System) Linux portadas para o microcomputador Raspberry Pi, que possui processador de arquitetura ARM. Apesar do software não ser executado em um RTOS, as velocidades de processamento do microcontrolador conseguem atender satisfatoriamente aos requisitos de temporização que foram impostos pelo software, com baixa latência. Os detalhes estão apresentados na seção 3.6.2.

O software embarcado desenvolvido na linguagem C permitiu o uso de callbacks de funções, de maneira temporizada, assim como o uso das portas de uso geral de entrada e saída do dispositivo. Algumas dificuldades de compatibilidade de sinais lógicos foram encontradas necessitando de adaptações para o funcionamento correto de interface entre dispositivos. Esse fato indicou que, para uma nova versão do dispositivo poderia ser desenvolvida uma arquitetura de hardware dedicada que englobasse toda a parte de energização do dispositivo e da interface de comunicação com periféricos. Deste modo, se faz necessário adequar corretamente os níveis lógicos entre os componentes. Os fatos aqui discutidos estão baseados nos dados obtidos durante o desenvolvimento do estudo proposto.

A Interface Homem-Máquina possuiu o foco na facilidade de operação do dispositivo pelo usuário, possui linguagem clara e apresenta sempre que possível instruções explícitas de procedimentos. Além de enviar comandos e receber mensagens, a IHM apresenta gráficos apresentando o estado do dispositivo, assim como possibilita o registro do estado do posicionador no decorrer do tempo. Gerou-se desse modo arquivos de registro que serão utilizados na consolidação de dados colhidos por sensores meteorológicos acoplados ao dispositivo.

A solução mecânica mostrou-se robusta e com grau de repetibilidade aceitável para o eixo de elevação, no entanto, o eixo de azimuth precisa de retrabalhos no esticamento correto da correia sincronizadora de movimento de azimuth. Durante a execução de varredura, existe inconsistência na movimentação do eixo de azimuth, que hora parece acelerar, isso ocorre devido as folgas da correia, que não são lineares, e apresentam um carácter oscilatório a medida que o eixo é movimentado. Esse fato é comprovado com os maiores desvios associados a trechos menores de movimentação em azimuth, enquanto que trajetórias maiores possuem maior consistência, isso por que para intervalos maiores de movimentação as folgas se compensam em média e suavizam os efeitos não lineares, auxiliando no desvio de repetibilidade menor.

O sensoriamento foi também superdimensionado, gerando assim uma precisão de sensoriamento menor que décimo de graus. Nesse caso, o IAG poderá utilizar essa característica para aprimorar a precisão de apontamento do dispositivo, assim como verificar de maneira mais efetiva as características de repetibilidade do aparelho através de normas aplicáveis.

7. CONCLUSÕES

Por meio de revisões sobre tecnologias consolidadas e recentes no tangente à radares e seus sistemas de posicionamento foi constatado que, a parte mecânica do referido sistema é basicamente abordada por patentes;

A julgar pelos dados obtidos, a literatura mais recente trata do controle de posição da antena e sua modelagem;

Visto que o objetivo principal do projeto era desenvolver um dispositivo para ser operado por usuários (IAG), o que inspira cuidados com a segurança do mesmo, os dados obtidos sobre normas, legislação e estudo de impacto de riscos foram a contento;

A análise de risco realizada durante a elaboração do projeto básico possibilitou levantar e avaliar todos os eventos que podem interferir no escopo, planejamento, custo e operação de um projeto deste porte;

Os dados obtidos durante a execução deste projeto foram suficientes para serem tomadas as medidas cabíveis no sentido de prevenir ou conter os riscos, utilizando sistemas redundantes, de modo a minimizar falhas e aumentar a confiabilidade do dispositivo.

A solução desenvolvida atende a todos os requisitos propostos inicialmente, e indicam diversas direções que poderão ser exploradas no aprimoramento do projeto em estudos futuros.

Estudos mais aprofundados acerca da repetibilidade do dispositivo fazem-se necessários, assim como posterior calibração dos eixos para a correta operação do dispositivo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARMELLINI, F. (2006). *Projeto e implementação do controle de posição de uma antena de radar meteorológico através de servomecanismos*. Tese de Mestrado, Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, São Paulo.
- [2] *GUIA PMBOK* (4ª edição ed., 2008). Newtown, Pennsylvania, EUA: Project Management Institute, Inc.
- [3] JOHNSON, R. C. (1993). *Antenna Engineering Handbook* (3ª edição ed.). Atlanta, Georgia: McGraw-Hill, Inc.
- [4] KÄRCHER, H. J. (2006). Telescopes as Mechatronic Systems. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* , 17-37.
- [5] GAWRONSKI, W. (2008). *Modeling and Control of Antennas and Telescopes*. Pasadena, Califórnia, EUA: Springer.
- [6] BLAYLOCK, R. B. (1964). *Aerodynamic coefficients model of a paraboloidal-reflector directional antenna proposed for a JPL advanced antenna system*. California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.
- [7] GAWRONSKI, W. (2007). Servo-performance parameters of the NASA Deep Space Network Antennas. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* , 40-46.
- [8] GAWRONSKI, W. (2005). Control and Pointing Challenges of Antennas and Telescopes. *American Control Conference* .
- [9] FLEURY, A. T., LEONARDI, F., & ARMELLINI, F. (2010). Controle robusto da antena de um radar meteorológico. *XVIII Congresso Brasileiro de Automática* , 2220-2227.
- [10] OKUMUS, H. I., SAHIN, E., & AKYAZI, O. (2012). Antenna Azimuth Position Control with Classical PID and Fuzzy Logic Controllers.
- [11] HONGYAN, W., & YANHONG, W. (2008). Pointing Control of the Antenna Based on the Accurate Geometric Model.

- [12] <http://www.q-par.com/products/antenna-positioners/ bespoke-antenna-positioner-designs/model-100-antenna-positioner/files/all-weather-positioners.pdf> - Acesso: 16/06/2013
- [13] http://www.q-par.com/products/antenna-positioners/standard-antenna-positioners/elint-positioner/files/elint_systems_datasheet_web-1.pdf - Acesso: 16/06/2013
- [14] <http://www.google.com.br/patents/US4691207> – Acesso: 16/06/2013
- [15] <http://www.google.com.br/patents/EP0664499A1> - Acesso: 16/06/2013
- [16] <http://www.google.com.br/patents/US20100245196> - Acesso: 16/06/2013
- [17] <http://www.google.com.br/patents/US8378919> - Acesso: 16/06/2013
- [18] Resolução nº 593, de 7 de junho de 2012, Anatel.
- [19] Resolução nº 529, de 3 de junho de 2009, Anatel
- [20] Regulamento do Serviço Limitado Privado, Anatel.
- [21] <http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/index.html> - Acesso: 12/06/2013.
- [22] http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/Data/Graficos/SP/Antigo_VL.html - Acesso: 12/06/2013

APÊNDICES

A) Manual do Usuário – Sistema Posicionador ARANI



Posicionador automático para
apontamento em 2 eixos

MANUAL DO USUÁRIO



MECATRÔNICA

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos



Conteúdo do Manual

1	Recomendações de Segurança	3
2	Introdução: Arani	4
3	Descrição do Sistema	5
4	Descrição dos Componentes	6
1	Sensor Meteorológico	6
2	Adaptador de Sensor Meteorológico	6
3	Eixo Principal Mecânico	7
4	Corpo do Dispositivo	9
5	Caixa de Comando	9
5	<i>Software</i> de Comando	10
1	Tela Principal	11
2	Conexão com o Dispositivo	12
3	Envio de Comandos e Estados do Dispositivo	14
4	Movimentação Manual	15
5	Varreduras Automáticas	16
6	Monitoramento do Dispositivo	19
7	Registro de Tendências	20
6	Sistema de Posicionamento	21
1	Especificações Gerais	21
2	Eixo de Azimute	22
3	Eixo de Elevação	23
4	Ação do Vento	25
5	Gráficos de Esforço do Vento	25
7	<i>Hardware</i> do Dispositivo	27
1	Especificações Gerais.....	27
2	Sensores e Atuadores.....	28
3	Placas Eletrônicas.....	32
4	Conexões com o <i>Raspberry Pi</i>	34
8	Montagem do Posicionador	35
9	Configurações Avançadas	42
1	Projeto de Adaptadores para Sensores.....	42
2	Configuração de Conexão com o Arani.....	43

1 Recomendações de Segurança

Para operar o posicionador de dois eixos Arani é necessária uma fonte de energia de 110/220 VAC. Para cada uma das configurações deve ser realizado chaveamento na fonte principal 24V. Consulte a seção sobre o sistema elétrico para obter maiores informações.

O dispositivo deve ser operado por pessoas designadas para tal e que sejam instruídas para operação do posicionador. As documentações de todos subsistemas encontram-se neste manual e devem ser observadas em ocasião de montagem, operação ou manutenção do equipamento.

É de extrema importância atentar para as especificações de projeto de bandejas adaptadoras, antenas acopladas e operação em geral para garantir o correto uso do dispositivo. Verifique antes da operação o curso útil a ser utilizado em azimuth e elevação. Esses valores evitam acidentes e possíveis avarias ao equipamento.

O equipamento deve sempre operar com todos seus sensores conectados, pois os mesmos foram desenvolvidos para facilitar a operação, assim como mitigar riscos ao operador e falhas do dispositivo.

2 Introdução: Arani

Arani é uma palavra de origem tupi guarani que significa tempo furioso e nomeia o dispositivo desenvolvido. O posicionador Arani tem a capacidade de apontamento orientando-se ao longo de seus dois eixos: eixos de azimute e de elevação.

O posicionador é fruto de um trabalho de formatura desenvolvido por alunos de engenharia Mecatrônica da Escola Politécnica da USP em parceria com o Laboratório STORM-T do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP).

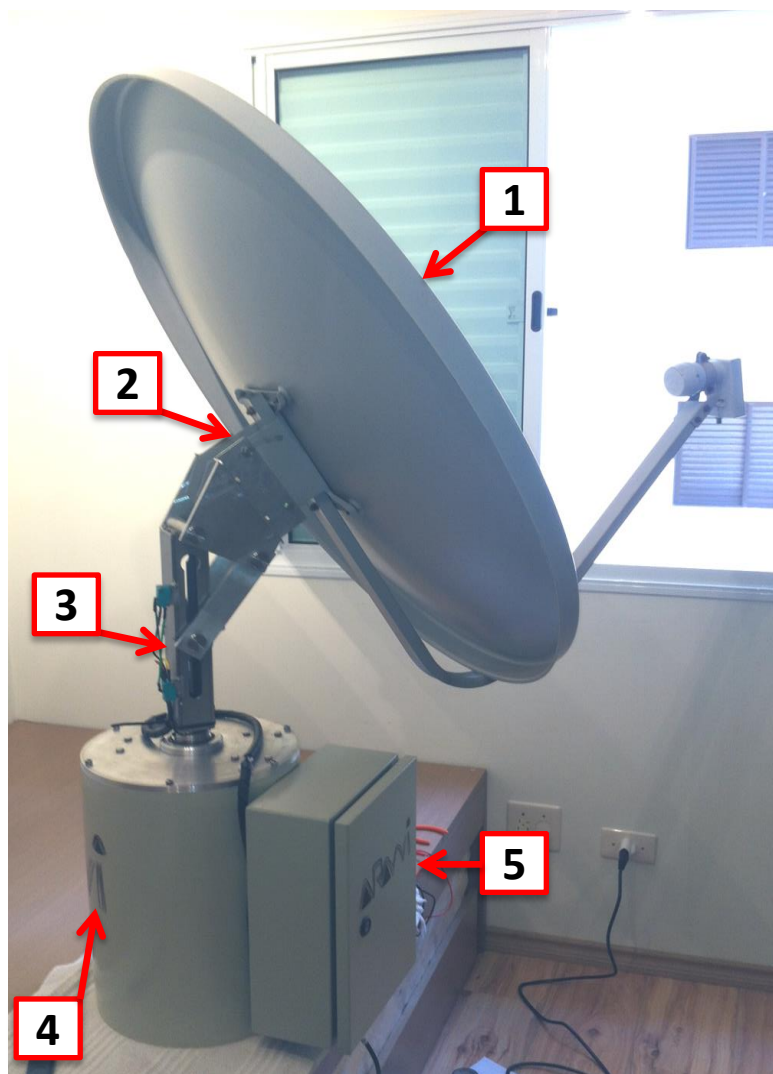
O dispositivo foi desenvolvido para aplicações de sensoriamento meteorológico com foco em automação de varreduras. O posicionador realiza automaticamente varreduras pré-definidas, orientando-se no espaço por meio de seus eixos de azimute e elevação, registrando assim sua posição a todo instante.

Ao longo desse manual são apresentados cada um dos subsistemas do posicionador. Nos capítulos 3 e 4 são apresentadas uma visão geral de cada parte do equipamento. O capítulo 5 apresenta a Interface Homem-Máquina do aparelho, enquanto o capítulo 6 apresenta um resumo do sistema de posicionamento. O capítulo 7 detalha o hardware do dispositivo e o 8 a montagem do mesmo. O capítulo 9 apresenta detalhes adicionais de configuração e confecção de novas bandejas adaptadoras.

3 Descrição do Sistema

O Arani é composto de uma estrutura mecânica de posicionamento, hardware dedicado de controle/sensoriamento e software de comando.

A figura 1 apresenta o dispositivo e seus componentes:



1 – Antena Parabólica

2 – Adaptador para Antena Parabólica

3 – Eixo Principal Mecânico

4 – Corpo do Dispositivo

5 – Caixa de Comando

Os componentes 1 e 2 podem ser substituídos de acordo com o interesse do utilizador.

O adaptador (2) para o sensor/antena (1) deve ser desenvolvido de acordo com as diretrizes expostas no capítulo 9.

Figura 1 – Componentes do Sistema

O hardware dedicado encontra-se dentro da caixa de comando, apresentada melhor no capítulo 7, a caixa que encontra-se fixada no corpo do dispositivo.

O software da Interface Homem-Máquina necessita de um computador com Java instalado para sua execução, e através dele pode-se interagir com o dispositivo, veja o capítulo 5 para maiores detalhes.

4 Descrição dos Componentes

4.1 Sensor Meteorológico

O posicionador Arani foi projetado para apontar Cornetas e Antenas Parabólicas no espaço, direcionando assim esses dispositivos para coleta de dados atmosféricos. Na figura 1, como exemplo, pode-se observar uma antena parabólica acoplada para ser posicionada.

4.2 Adaptador de Sensor Meteorológico

O conceito de adaptador para sensor permite que o posicionador seja utilizado com diversos sensores, conferindo assim ao posicionador flexibilidade e inclusive a possibilidade de ser utilizado com diversos tipos de sensores simultaneamente. **É imprescindível a fabricação de adaptadores de acordo com as diretrizes para desenvolvimento de adaptadores apresentadas no capítulo 9.**



Figura 2 – Exemplo de Adaptador

Na figura 2 pode-se observar um adaptador para parabólica desenvolvido. Ele é fixado às duas barras do mecanismo responsável pelo grau de liberdade de elevação, fazendo com que o sensor utilizado gire solidário ao posicionador.

Desse mesmo modo podem ser desenvolvidos outros adaptadores para um ou mais sensores simultâneos, parabólicas e radares.

4 Descrição dos Componentes

4.3 Eixo Principal Mecânico

O eixo principal é responsável pelos movimentos de azimute e elevação. Ele possui uma guia interna que é responsável pelo acionamento linear do mecanismo de elevação (tipo biela-manivela), enquanto sua parte externa permite o giro do mecanismo fornecendo assim o eixo de azimute. A figura 3 mostra todo o módulo mecânico montado.

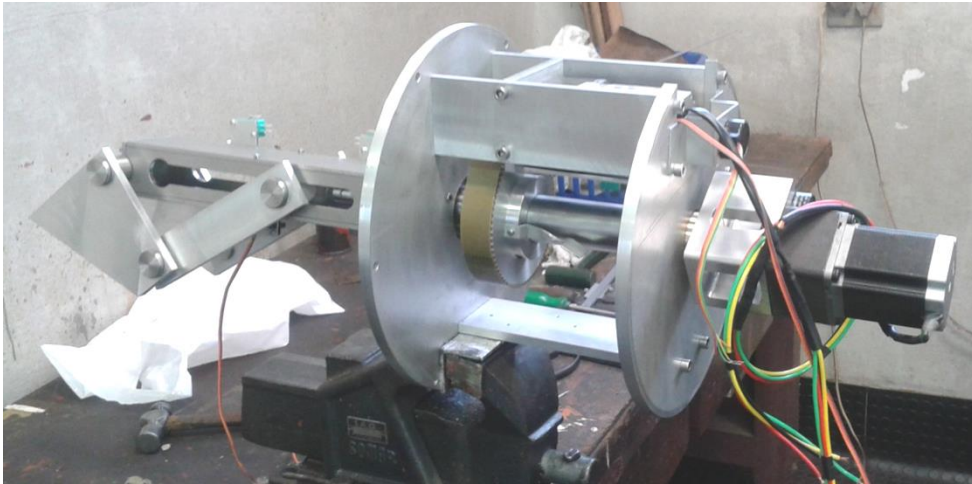


Figura 3 – Eixo Principal Mecânico

A figura 4 apresenta em detalhe o eixo de azimute. O eixo de azimute é movimentado por um motor de passo com caixa de redução 20:1 que aciona um par de engrenagens (razão de redução 72:14) por meio de uma correia sincronizadora.

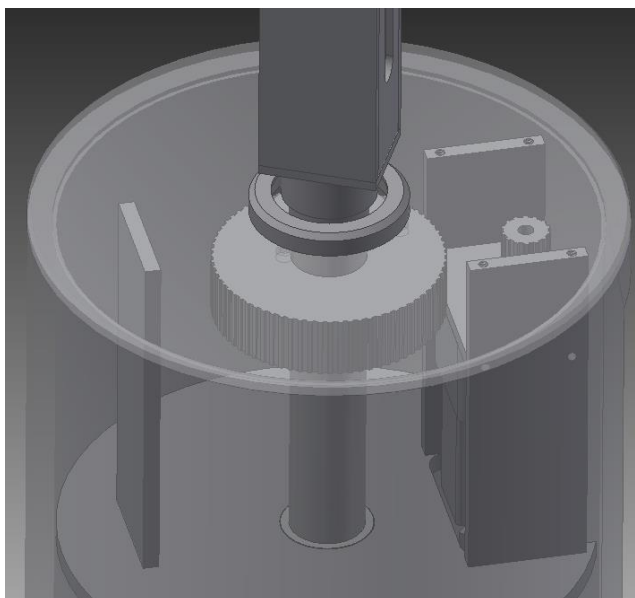


Figura 4 – Detalhe Movimentação Azimute

4 Descrição dos Componentes

O eixo de elevação é baseado em um mecanismo biela-manivela com as relações apresentadas na figura 5:

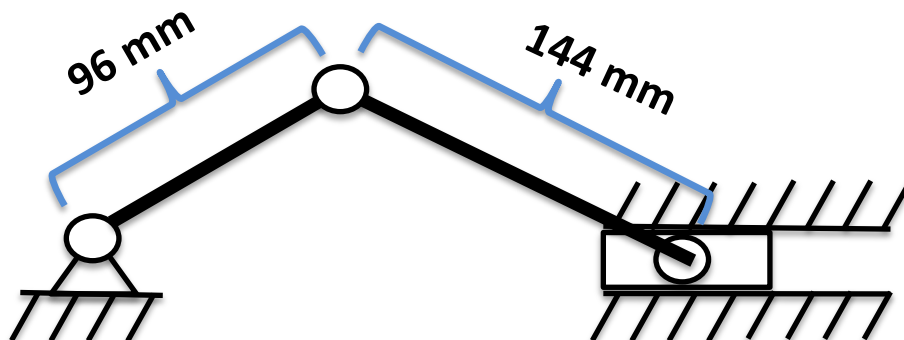


Figura 5 – Esquema Movimentação Elevação

Ao ser acionado o eixo, a luva roscada telescópica interna movimenta-se linearmente similar ao movimento de um pistão, desse modo permite o giro das barras.

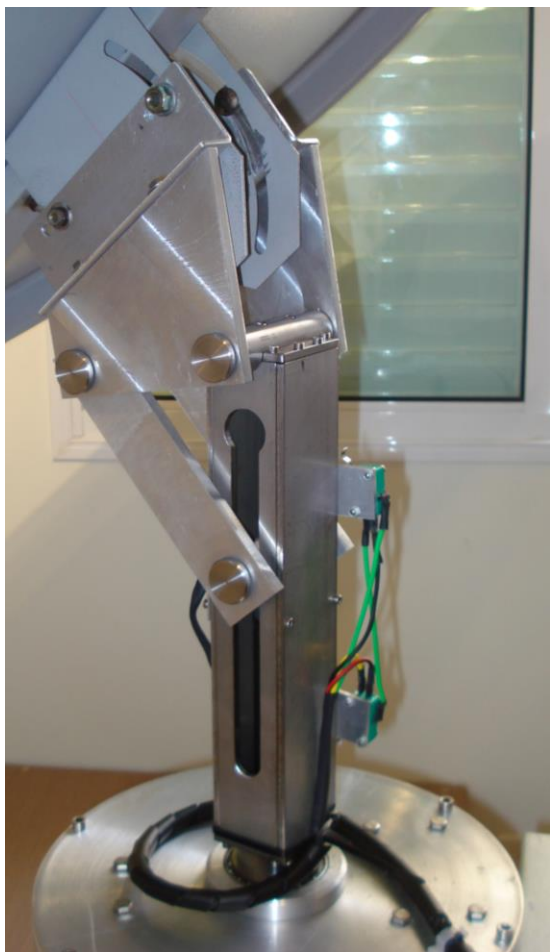


Figura 6 – Eixo de Elevação

Ao efetuar o giro das barras o sensor acoplado ao eixo de acionamento também gira. Com as dimensões do mecanismo conhecidas é possível calcular o valor real de giro pois o valor de elevação nesse caso se comporta de maneira não linear (verifique o capítulo 7 para maiores informações).

O eixo de elevação gira solidário ao de azimute, permitindo assim os dois graus de liberdade do posicionador.

4 Descrição dos Componentes

4.4 Corpo do Dispositivo

O corpo do dispositivo é constituído de um perfil tubular de PVC com espessura de parede de 15mm. Ele é utilizado pela resistência mecânica, leveza em relação aos materiais metálicos e resistência a intempéries. O módulo mecânico é encaixado dentro do corpo, permitindo assim um *design* simples e que permite elevada vedação para uso em ambientes agressivos.

Na figura 7 é apresentado o corpo do dispositivo, os 4 furos de fixação da caixa e os 3 furos centrais para passagem de cabos do dispositivo.



Figura 7 – Corpo do Dispositivo

4.5 Caixa de Comando

A caixa de comando agrega todo o *hardware* necessário para operação do dispositivo. O posicionador foi projetado para funcionar somente utilizando o cabo de alimentação elétrica prezando assim pela mobilidade. A figura 8 apresenta uma vista da caixa com o *hardware*.



Figura 8 – Caixa de Comando

5 Software de Comando

O software de comando é a Interface Homem-Máquina (IHM) do dispositivo. Utilizando ela podemos executar todas as configurações e ações necessárias para sua operação, tais como: calibração, envio de comandos de movimentação, registro de posicionamento, monitoramento de temperatura e umidade e etc.

A linguagem JAVA foi utilizada no desenvolvimento da IHM e facilita o envio de comandos para o computador embarcado no posicionador (Raspberry Pi). A figura 9 apresenta a tela inicial e seus principais campos de informação.

Os painéis na tela do aplicativo que foram desenvolvidos são:

- a) Monitoramento: dados pontuais do dispositivo;
- b) Sensores: estado dos sensores do posicionador;
- c) Alarmes/Mensagens: mensagens do Dispositivo ou IHM;
- d) Multifuncional: principal painel para operação.

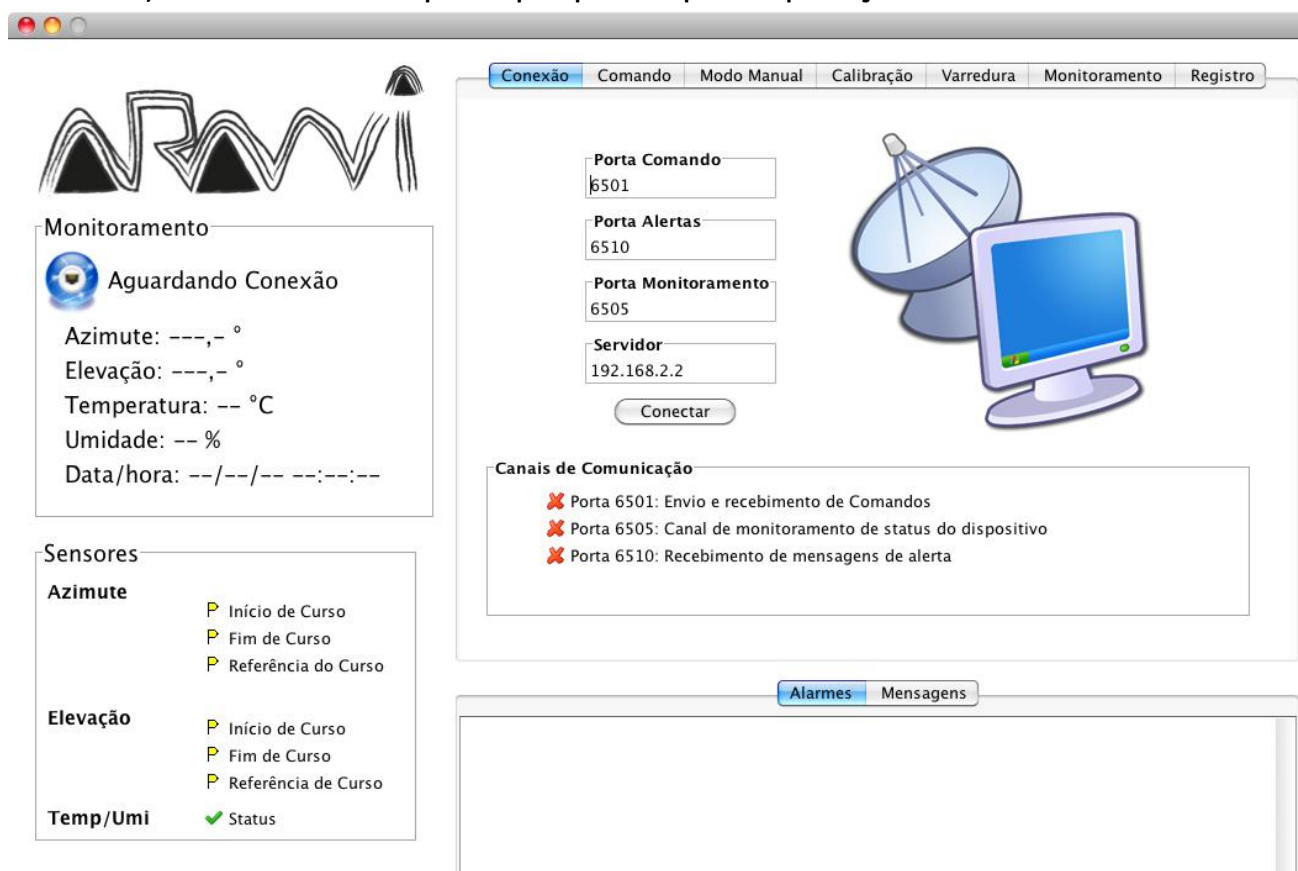


Figura 9 – Tela da Interface Homem-Máquina

5 Software de Comando

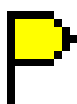
5.1 Tela Principal

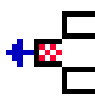
O painel de monitoramento apresenta o estado atual do mecanismo e possui taxa de atualização de 1 Hz. O campo na figura 10 que apresenta o texto “Aguardando Conexão” é o campo que mostra o estado atual do mecanismo de acordo com o estado do software embarcado (os possíveis estados e respectivos ícones podem ser observados na figura 14).

Os campos de azimuth e elevação correspondem a coordenada do dispositivo no instante Data/hora, assim a temperatura e umidade são os registrados pelo sensor de temperatura e umidade.

O painel de sensores apresenta o estado dos sensores do dispositivo, mostrando assim se estão acionados, desacionados ou indisponíveis.

Os sensores de limite de curso podem possuir dois estados:

 **Sensor Ok (desacionado)**

 **Fim de Curso Atingido (24V Off)**

Os sensores de referência de curso podem possuir os seguintes estados:

 **Sensor Desacionado**

 **Ponto de Referência Atingido**

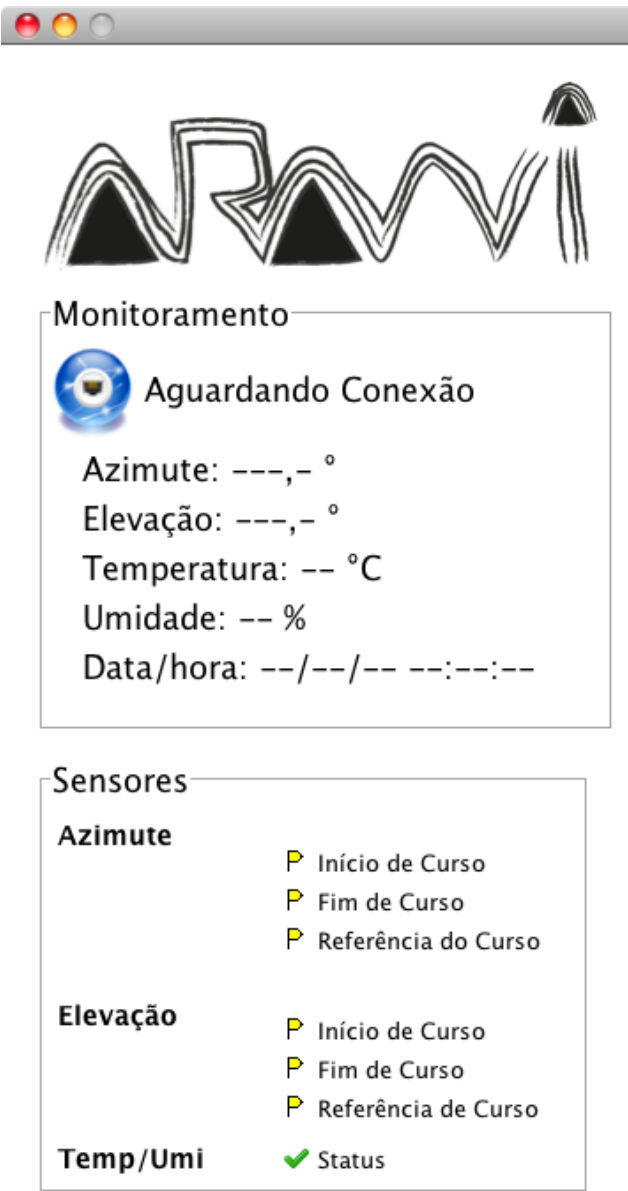


Figura 10 – Painel Monitoramento

5 Software de Comando

O painel de sensores ainda apresenta o estado do sensor de temperatura, sinalizando se ele está operando normalmente ou não.

No painel de Alarmes e Mensagens são exibidas as mensagens enviadas pelo dispositivo, assim como mensagens de comando aceito etc.



Figura 11 – Painel de Alarmes e Mensagens

5.2 Conexão com o Dispositivo

A comunicação com o dispositivo é feita por meio de *sockets*, permitindo assim que as duas aplicações se comuniquem através de uma rede ethernet ou internet e troquem dados. Três canais de comunicação são utilizados:

- a) *Canal de Comando*: Responsável pelo envio de comando e recebimento de resposta do dispositivo, configuração de varredura etc.
- b) *Canal de Monitoramento*: Recebe o estado do dispositivo a cada segundo;
- c) *Canal de Alarmes*: Recebimento de alertas do dispositivo ou alarmes de mal funcionamento.

Os canais de Monitoramento e Alarmes são unidirecionais, sendo que a IHM atua como cliente só recebendo dados desses canais. O canal de Comando é bidirecional e a IHM atua ativamente, enviando requisições e recebendo as respectivas respostas.

A figura 12 apresenta a tela de conexão, nela podem-se observar as configurações das portas de comunicação. As configurações das portas são: Porta de Comando (**6501**), porta de monitoramento (**6505**) e porta de alertas (**6510**).

5 Software de Comando



Figura 12 – Aba de Conexão

A aba de conexão possui também o endereço do servidor, no caso o dispositivo Arani. O endereço IP pode ser obtido de acordo com a conexão efetuada (para mais detalhes consulte o capítulo XX). Para conexão pela rede *wireless* do dispositivo **AraniStorm** esse endereço padrão é **192.168.1.1**.

Após configurar o endereço do servidor basta pressionar o botão **Conectar** e o painel de **Canais de Comunicação** deverá alterar as setas vermelhas por sinais verdes, sinalizando assim que a conexão ocorreu da forma correta em todos os canais como apresenta a figura 13.

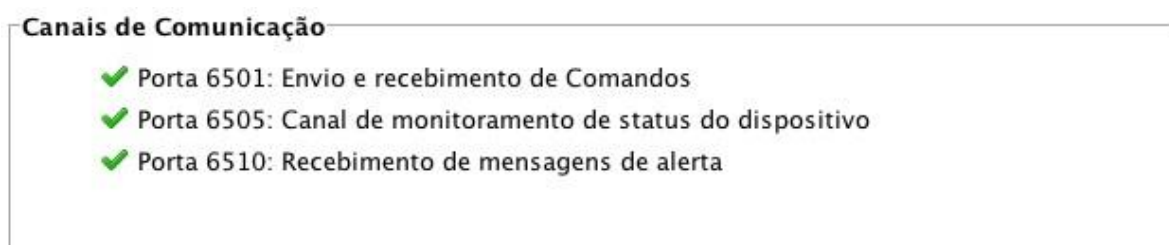


Figura 13 – Conexão Ok

5 Software de Comando

5.3 Envio de Comandos e Estados do Dispositivo

O envio de comando para controle do dispositivo é realizado através da aba de Comando da IHM. A aba apresenta um diagrama da máquina de estados implementada no controlador embarcado, dessa forma basta observar o estado do dispositivo no painel de monitoramento para visualizar as possíveis ações a serem tomadas. O diagrama apresentado mostra todos os estados e ícones que são utilizados no painel de monitoramento. A figura 14 apresenta a aba de Comando.

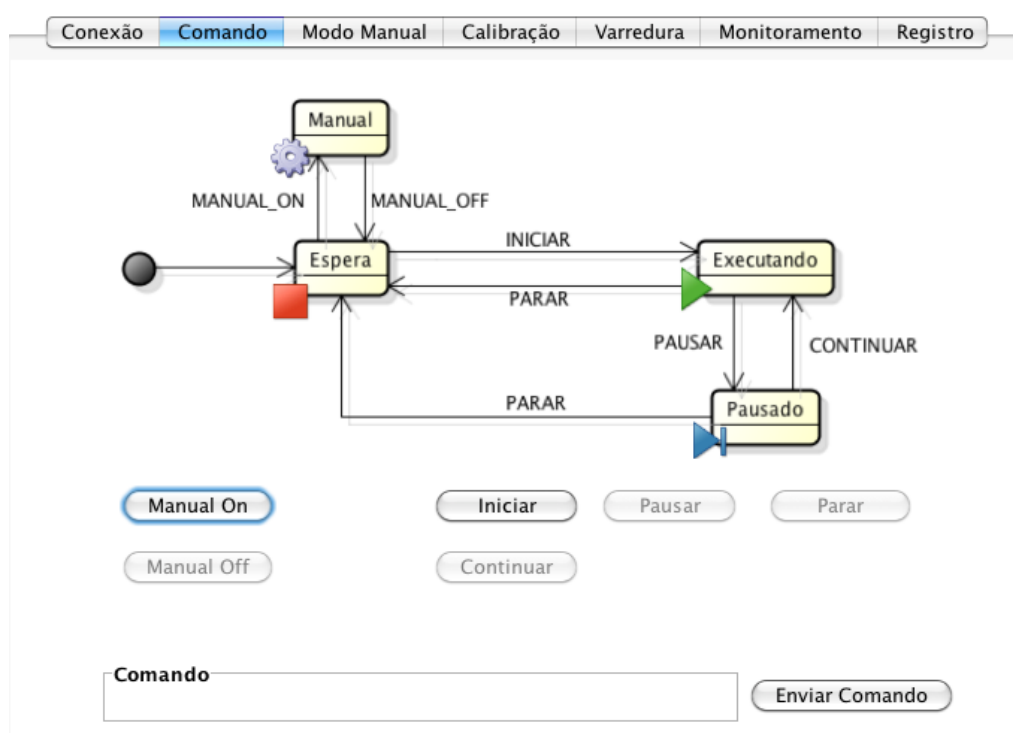


Figura 14 – Aba de Comando

Além dos comandos para troca de estado existe um **Prompt de Comando** que permite ao usuário avançado enviar qualquer comando que desejar ao dispositivo ao clicar no botão **Enviar Comando**.

Para utilizar essa interface é importante que seja conhecido o protocolo de comunicação entre a IHM e a aplicação embarcada.

5 Software de Comando

5.4 Movimentação Manual

A aba de Modo Manual apresenta dois tipos de comando para movimentação manual: posicionamento manual e envio de jog. O primeiro tipo funciona como um comando para o dispositivo ir para determinada posição dada suas coordenadas de azimuth e elevação. O envio de jogs atua de modo incremental, enviando assim um comando para incrementar ou decrementar a posição atual do mecanismo de uma porção em azimuth e elevação.

O ajuste de velocidade de movimento é realizado na parte esquerda da aba, e a tela apresenta todas as informações necessárias para o operador realizar os comandos sem dúvida dos resultados a serem obtidos. Os limites para posicionamento manual são -2 a 362 e -10 a 100 graus para azimuth e elevação respectivamente.

Os *jogs* podem possuir valor de no máximo 360 e 100 graus para incremento e decremento dos eixos de azimuth e elevação respectivamente.

A interface da aba de Comando Manual é dividida em duas seções principais: Posicionamento Manual e Envio de Jog. Ambas as seções possuem uma lista de instruções numeradas de 1 a 4. Na seção Posicionamento Manual, há um slider para a Velocidade de Operação (5.0 °/s) e campos de entrada para Azimute e Elevação. Na seção Envio de Jog, há campos de entrada para Incremento Azimute e Incremento Elevação. Ambas as seções possuem botões para executar o comando e cancelar a operação.

Conexão	Comando	Modo Manual	Calibração	Varredura	Monitoramento	Registro
Posicionamento Manual						
1 Seleccione a velocidade de operação.						
2 Seleccione o ângulo de posicionamento.						
3 Pressione o botão "Ir para posição".						
4 Para cancelar pressione "Cancelar Goto".						
Velocidade de Operação: 5.0 °/s						
0						
Azimute						
0						
Elevação						
Ir para posição						
Cancelar GoTo						
Envio de Jog						
1 Seleccione a velocidade na outra aba.						
2 Seleccione o ângulo de incremento.						
3 Pressione o botão "Enviar Jog".						
4 Para cancelar pressione "Cancelar Jog".						
Incremento Azimute 0						
Incremento Elevação 0						
Enviar Jog						
Cancelar Jog						

Figura 15 – Aba de Comando Manual

5 Software de Comando

A figura 15 apresenta a aba de modo manual e seus botões de ação também. É importante ressaltar que **os botões de comando manual só ficam habilitados caso o dispositivo encontre-se em modo manual**, para habilitá-los basta mudar o estado do dispositivo na aba de Comando, fazendo com que ele se encontre em modo Manual.

Os comandos manuais podem ser interrompidos a qualquer momento através dos botões **Cancelar GoTo** e **Cancelar Jog**. Esses botões enviam comandos para parar a excitação dos motores e consequentemente a movimentação manual.

5.5 Varreduras Automáticas

A aba **Varredura** é utilizada para configurar as varreduras automáticas a serem realizadas pelo dispositivo. A aba apresenta os passos para configuração de tipos pré-definidos, explicações sobre os tipos e pré-visualização de varreduras configuradas, assim como envio delas para o dispositivo. A figura 16 apresenta a aba de varredura que mostra as quatro ações necessárias para configurar uma varredura.

A interface da aba **Varredura** é organizada em quatro etapas numeradas:

- 1 Seleção do Tipo de Varredura:** Apresenta quatro opções de radio buttons: **Fatias Elevacionais** (selecionada), **Fatias Elevacionais - Triangular**, **Fatias Azimutais** e **Fatias Azimutais - Triangular**. Há um botão **Ajuda com Varreduras**.
- 2 Configure o Intervalo de Operação:** Contém duas seções de configuração de intervalos com campos de entrada e setas de incremento/decremento.
 - Parâmetros Azimute:** Mínimo (0), Passo (5), Máximo (360).
 - Parâmetros Elevação:** Mínimo (0), Passo (1), Máximo (90).
- 3 Configure os demais Parâmetros:** Inclui um slider para **Velocidade de Operação** (definido em 5.0 °/s) e um campo de entrada para **Número de Repetições** (definido em 1).
- 4 Pré-visualize e envie Varredura:** Possui dois botões de ação: **Pré-visualizar Varredura** e **Configurar Varredurar**.

Figura 16 – Aba de Varredura

5 Software de Comando

A primeira ação é escolher o tipo de varredura a ser realizada. Existem quatro tipos que são explicados ao clicar no botão **Ajuda com Varreduras**, e são eles: (i) Fatias Elevacionais, (ii) Fatias Elevacionais – Triangular, (iii) Fatias Azimutais e (iv) Fatias Azimutais – Triangular. A figura 17 apresenta a varredura gerada por cada um dos tipos.

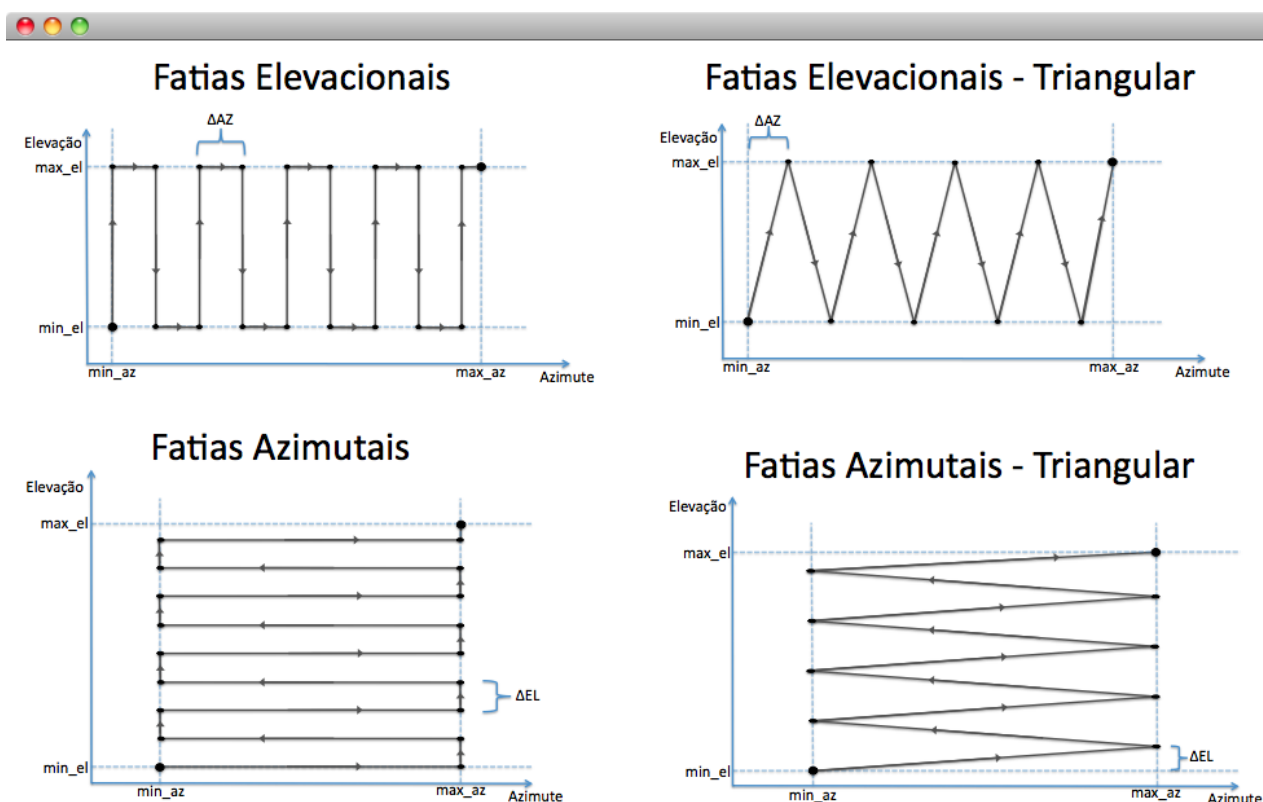


Figura 17 – Tipos de Varredura

Os tipos de varredura caracterizam o eixo que será percorrido em todo intervalo de varredura a cada “fatia”, ou seja, no tipo de fatia elevacional o eixo de elevação percorrerá a cada fatia uma trajetória compreendida entre o limite máximo e mínimo do eixo. O eixo de azimute, nesse caso, anda em passos, que representam frações do curso total a ser percorrido em azimute. Desse modo, os campos de passo somente são válidos para o eixo oposto do tipo de varredura.

Após a seleção do tipo é importante escolher os limites do eixo principal e secundário e os incrementos (passo) do eixo secundário para configuração.

5 *Software* de Comando

A velocidade e número de repetições deverão ser configurados em seguida. **O intervalo de velocidades do dispositivo é de 0,1 °/s até 5,0 °/s, essa velocidade corresponde a velocidade de movimento final**, portanto, em varreduras triangulares a velocidade configurada corresponde a velocidade final decorrente da contribuição da movimentação nos dois eixos, assim como em movimentação manual.

O número de repetições sinaliza para o software quantas vezes aquela varredura deve ser realizada, permitindo o usuário configurar varreduras, habilitar a gravação do registro de posições e deixar o **mecanismo movimentando automaticamente por um longo período de tempo, sem necessitar intervenção por parte do usuário.**

Após configurada, a varredura pode ser enviada ao dispositivo e posteriormente executada ao enviar o comando para o início da execução na aba de Comando.

5 Software de Comando

5.6 Monitoramento do Dispositivo

Além do painel de monitoramento apresentado no item 5.1 a aba de monitoramento auxilia na tarefa de registrar em gráficos as tendências do histórico de posição, temperatura, umidade e velocidade do dispositivo.

Os dados exibidos no painel do monitoramento são registrados nos gráficos apresentados na figura 18. Esses 3 gráficos podem ser alterados dinamicamente de local na janela por meio das setas bidirecionais, evidenciando assim o gráfico de interesse e limpando sua visualização caso haja interesse. **O limites máximos de tempo de registro é de dez minutos para velocidade, uma hora para temperatura/umidade e 1h40 de registro de posição.**

Os gráficos podem ser manuseados através de ações com o mouse e menu de opções que possibilitam salvar o gráficos em um arquivo de imagem, redimensionar e etc.

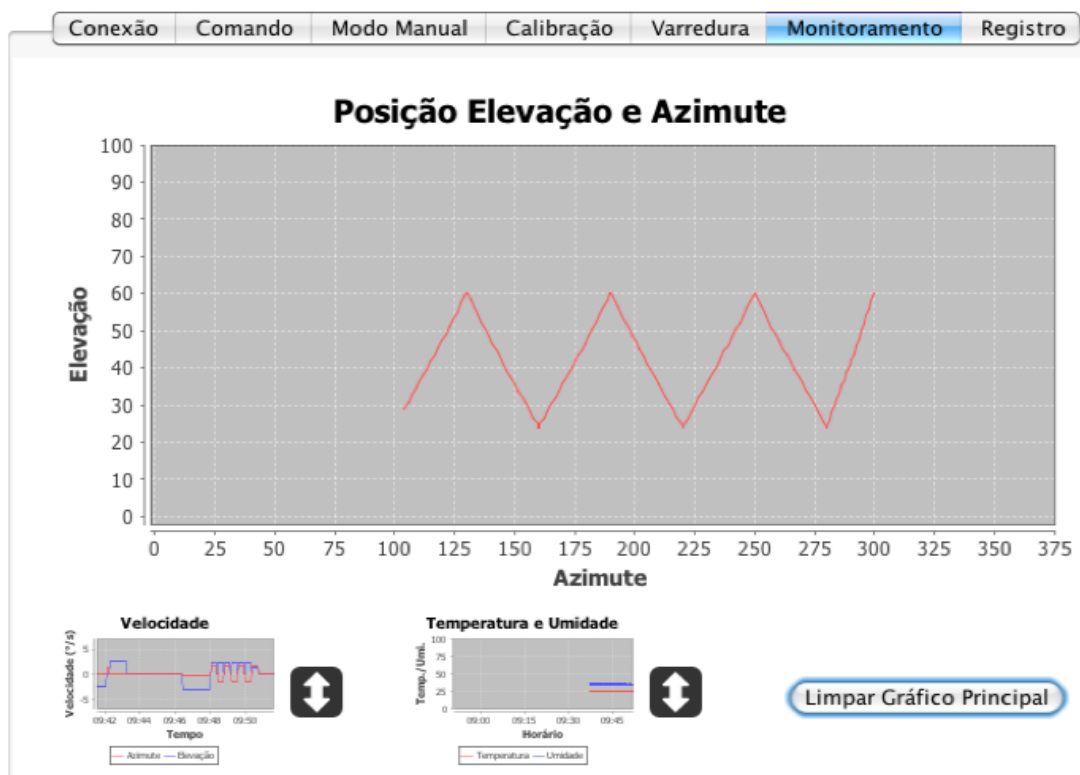


Figura 18 – Gráficos de Tendências

5 Software de Comando

5.7 Registro de Tendências

A aba de monitoramento permite salvar os dados em forma de gráficos, e visualizá-los em tempo real, no entanto, o formato desses dados é pouco eficiente na sincronização com os dados capturados pelos sensores posicionados no dispositivo. Para utilizar os dados do dispositivo na sincronização com os dados dos sensores, as informações de posição podem ser geradas um arquivo de registro tabular com todas as tendências, facilitando assim o pós-processamento dos dados de posição e dos sinais adquiridos pelos sensores.

Para habilitar a gravação de registro basta clicar no botão **Habilitar Gravação**, e cada dado de posição que a IHM recebe é também registrado na tabela da aba. Através do botão **Parar Gravação** pode-se interromper o registro de dados na tabela, e com o **Limpar Registro** o conteúdo armazenado é removido. Para salvar o registro basta utilizar o menu ao lado, nomeando arquivo, escolhendo seu diretório de destino e clicando no botão **Salvar**.



Figura 19 – Tela de Registro de Tendências

6 Sistema de Posicionamento

6.1 Especificações Gerais

O posicionador realiza a varredura através do movimento de seus eixos de elevação e azimute. O eixo principal é apresentado na figura 20, e consiste do eixo de elevação que é rotacionado. O eixo de azimute rotaciona todo conjunto de elevação por meio da rotação da luva telescópica, gerando assim o grau de liberdade de azimute.

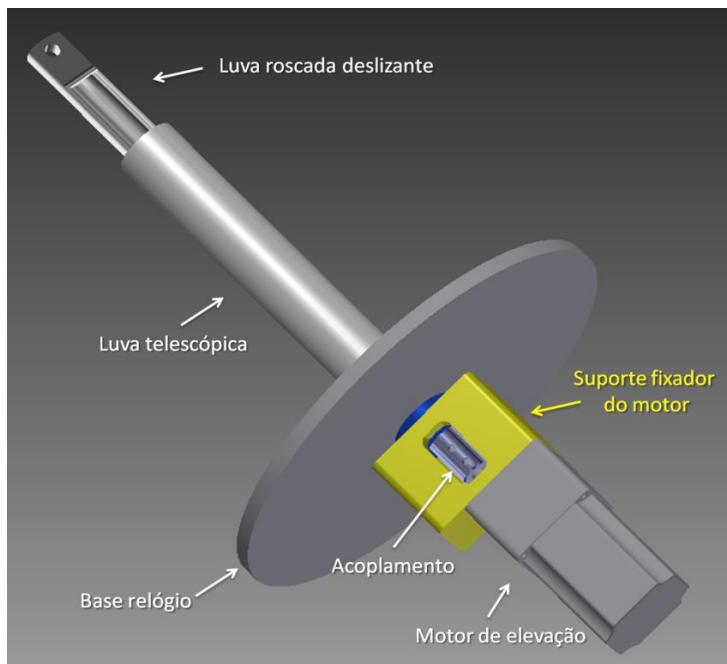


Figura 20 – Eixo Principal do Posicionador

A luva roscada deslizante permite o acionamento do mecanismo de posicionamento de elevação. O movimento linear dessa luva permite o movimento linear do mecanismo biela-manivela utilizado.

A resolução de posicionamento do dispositivo é de $0,1^\circ$. E trabalha com precisão de 1° durante sua operação. As velocidades de operação do mecanismo é de $0,1$ a $5,0^\circ/\text{s}$.

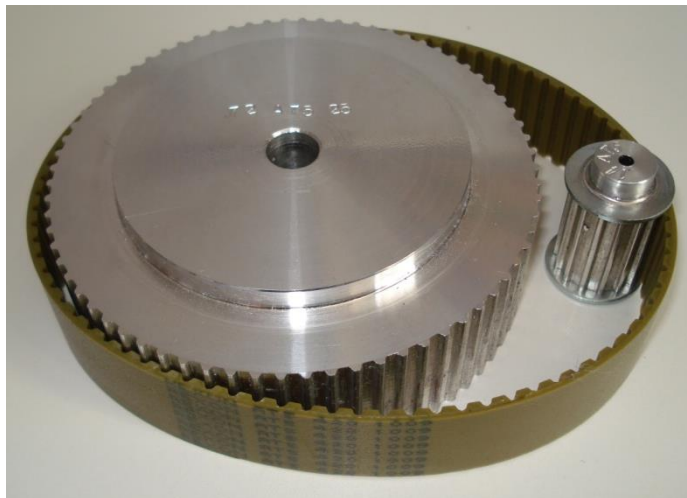
Os cursos de posicionamento são **de -1° a 360° azimute, e -10° a 92° de elevação**. Os cursos são limitados por sensores de fim de curso, que são responsáveis pelo corte de energia dos motores caso seja atingido o limite físico do curso. Além dos sensores de fim de curso existem também chaves ópticas de zero de curso, que auxiliam na tarefa de calibração automática e compensação de folgas.

O posicionador suporta cargas de até 20 Kg, e possui relações de redução de 80:1 no eixo de elevação, suportando esforços de até 1200 Nm. A redução do eixo de azimute é de 72:14 e suporta torques de até 150 Nm. Os itens 2 e 3 desse capítulo apresentam mais detalhes sobre cada eixo do posicionador.

6 Sistema de Posicionamento

6.2 Eixo de Azimute

O eixo de azimute rotaciona todo subconjunto de elevação, conferindo assim esse grau de liberdade adicional (azimute). A rotação do subconjunto é realizada através de uma polia instalada na luva telescópica, que é movida (por meio de uma correia sincronizadora) pela polia instalada na saída do redutor do motor de azimute. A figura 21 apresenta as polias utilizadas.



A relação entre o movimento do motor e eixo de azimute é linear, sendo que o motor opera (em conjunto com o driver) com **2000 passos por rotação**. Desse modo para realizar uma volta de 360° em azimute são necessários aproximadamente 206 mil pulsos. O sensoramento garante também que para 360° tenhamos 52663 pulsos para contabilizar.

Figura 21 – Transmissão Azimute

Com essa resolução de atuação e sensoramento associado o eixo de azimute pode ser posicionado com resolução de 0,1° e possuir precisão de 1°, caso as folgas estejam devidamente corrigidas e/ou compensadas. A figura 22 apresenta um esquema de acionamento e sensoramento do eixo de azimute.

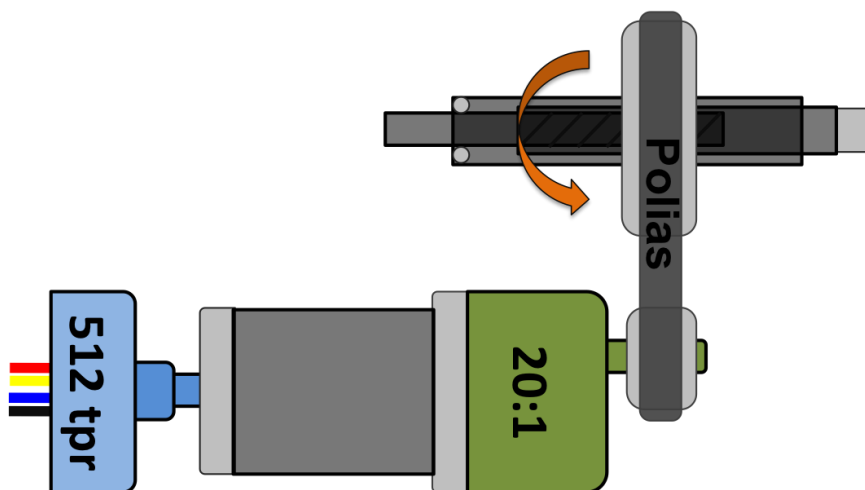


Figura 22 – Esquema acionamento de Azimute

6 Sistema de Posicionamento

6.3 Eixo de Elevação

O eixo de elevação é similar a um mecanismo biela-manivela e possui suas dimensões mostradas na figura 5. O mecanismo utilizado é exposto na figura 23, e ele não possui uma relação linear entre o avanço linear da guia principal e o giro final (θ_{el}) obtido. Os limites desse eixo são de ângulo de saída de **-10 a 92 graus**.

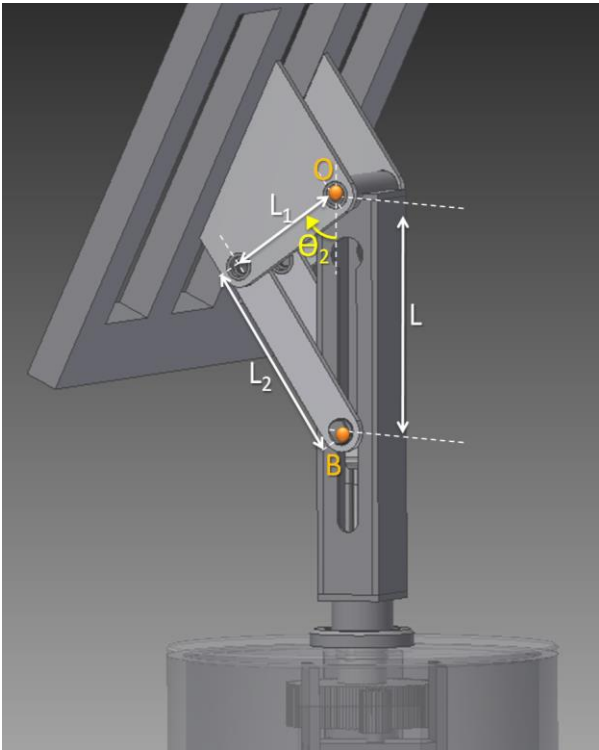


Figura 23 – Mecanismo de elevação

Apesar da relação não ser linear, a faixa escolhida de ângulo do mecanismo se aproxima de um comportamento linear, permitindo um controle mais fácil do mecanismo quando é movimentado. O gráfico de ângulo de saída com relação ao avanço é visto na figura 24.

O gráfico apresenta o ângulo de saída θ_2 da figura 23 em função da distância (mm) entre os pontos O e B. O ângulo de saída do mecanismo (θ_{el}) tem relação linear com θ_2 da forma:

$$\theta_{el} = \theta_2 - 30^\circ$$

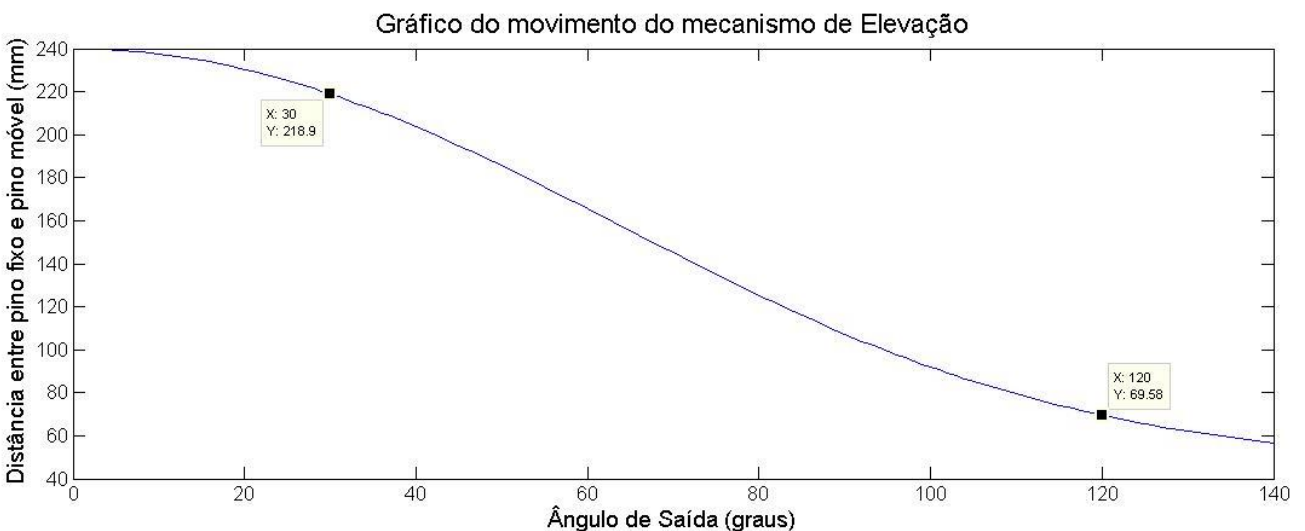


Figura 24 – Gráfico de Movimento

6 Sistema de Posicionamento

A IHM converte o avanço linear enviado pelo dispositivo embarcado em ângulo de elevação, e vice e versa. As equações de conversão são apresentadas abaixo:

$$\theta_{el} = \theta_2 - 30^\circ$$

Equação 1 – Relação ângulo mecanismo e de saída

$$\theta_{el} = \arccos\left(\frac{L_2^2 - L_1^2 - L^2}{-2L_1L}\right) - 30^\circ$$

Equação 2 – Relação distância L e ângulo de saída

$$L = L_1 \cos(\theta_{el} + 30^\circ) + \sqrt{L_2^2 - L_1^2 \sin^2(\theta_{el} + 30^\circ)}$$

Equação 3 – Relação ângulo de saída e distância L

O eixo linear avança 8 mm a cada rotação de saída do acionamento, e o motor de passo em conjunto com seu *driver* de acionamento permitem a discretização da rotação em 400 passos.

O sensoriamento do eixo de elevação permite que cada 15,625μm de avanço seja contabilizado, com essa resolução pode-se posicionar corretamente o mecanismo com precisão de 0,1 graus. A figura 25 apresenta um esquema de sensoriamento do eixo de elevação.

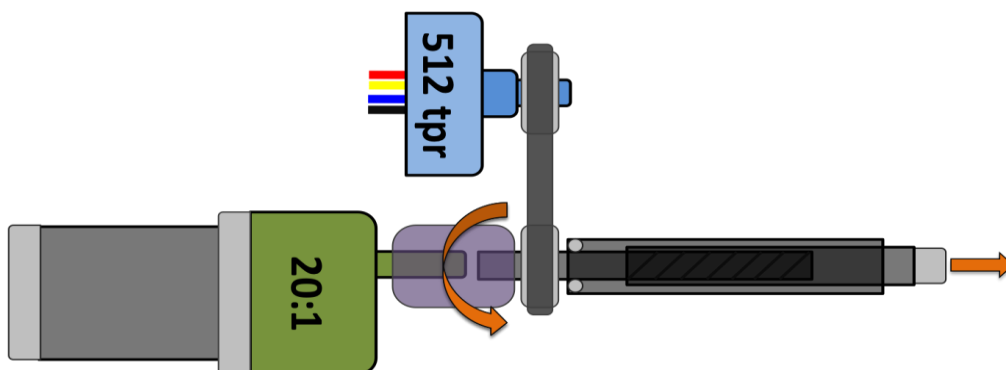


Figura 25 – Esquema acionamento de elevação

6 Sistema de Posicionamento

6.4 Ação do Vento

O vento é o principal distúrbio de posicionamento associado a operação do mecanismo. Ele limita a velocidade de operação do mecanismo e o tamanho dos dispositivos a serem acoplados. A figura 26 apresenta os esforços relativos a operação do mecanismo.

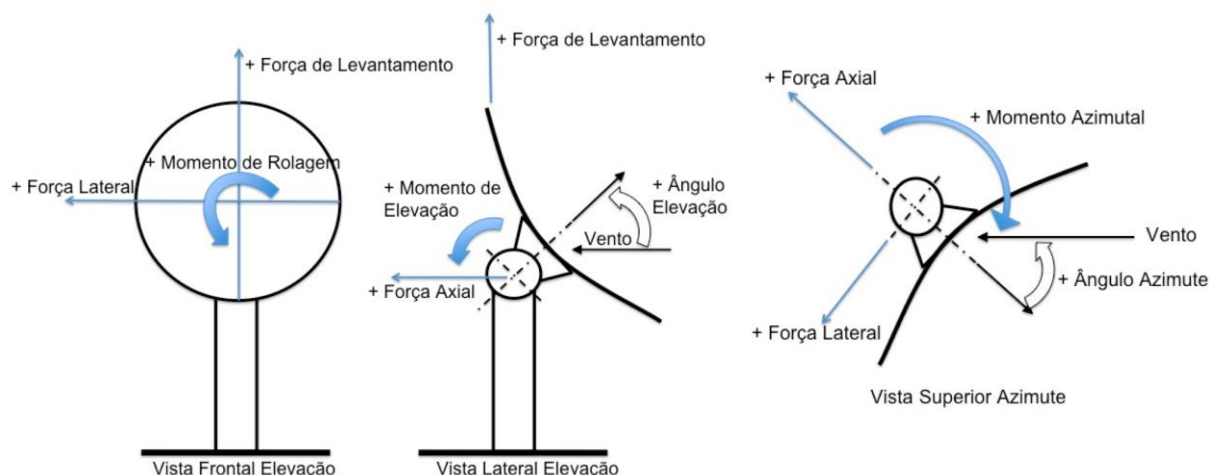


Figura 26 – Esforços relativos à ação do Vento

Os esforços foram calculados para cada um dos eixos para diversos diâmetros de antena, sendo que eles são apresentados na seção 5 desse capítulo. Os gráficos apresentados relacionam a velocidade máxima do vento suportada dada a velocidade do vento.

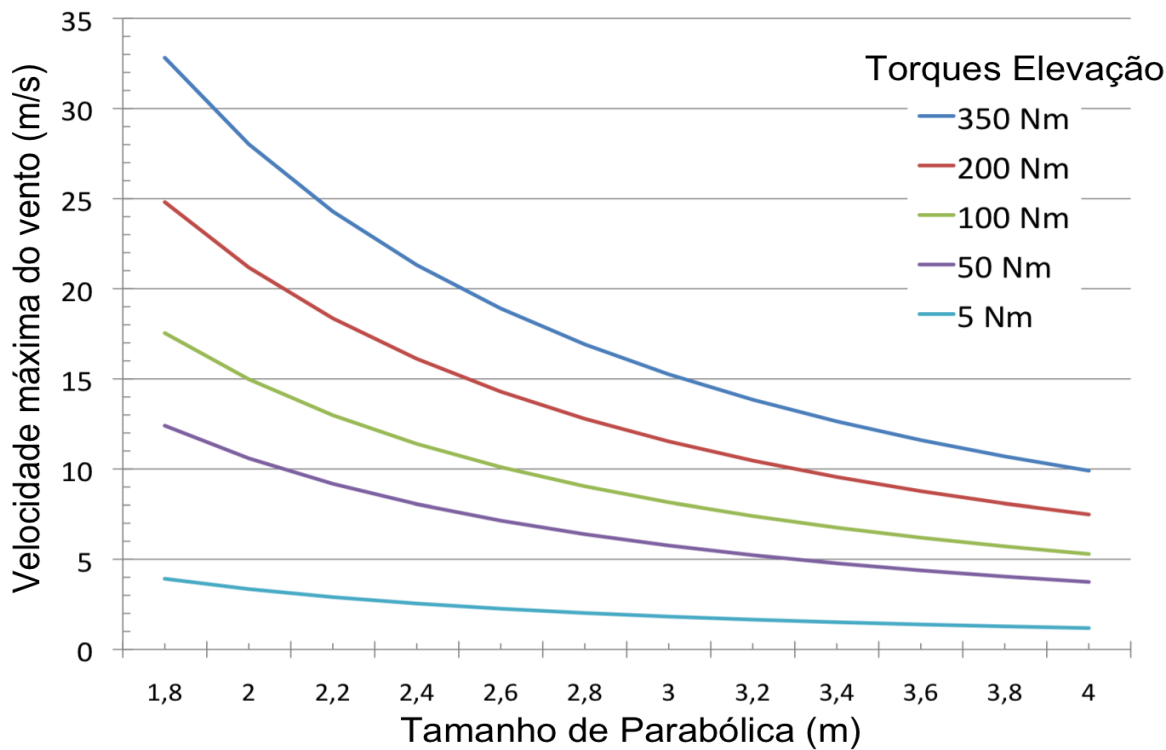
Observando os torques máximos de ação dos eixos é possível calcular a velocidade máxima do vento máxima de operação do dispositivo. Siga os seguintes passos:

- Definir tamanho da antena
- Medir inércia da antena nos dois eixos
- Calcular os torques necessários para operação dada velocidade de operação desejada
- Calcular torques máximos apresentados pelo vento dado torque máximo de operação em cada eixo e valores obtidos nos itens **b** e **c**
- Localizar no gráfico de esforços a velocidade máxima do vento dado o torque máximo do vento e tamanho de antena.

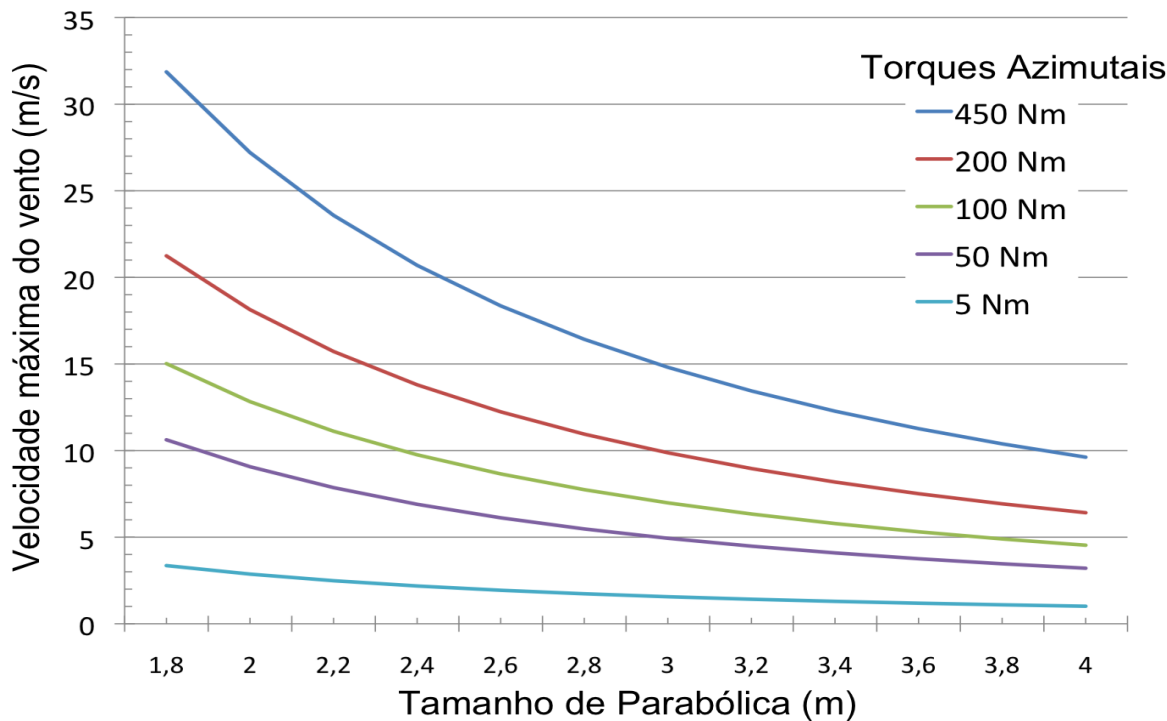
6 Sistema de Posicionamento

6.5 Gráficos de Esforços do Vento

Velocidade Máxima do Vento para Torques de Elevação com Diversos Diâmetros de Antenas



Velocidade Máxima do Vento para Torques Azimutais com Diversos Diâmetros de Antenas



7 Hardware do Dispositivo

7.1 Especificações gerais

Arani possui uma arquitetura de *hardware* que é similar a um computador e seus periféricos. Por isso, o computador *Raspberry Pi* atua como agente central dessa arquitetura. Ele recebe em cada uma de suas entradas e saídas conexões com *drivers*, sensores, e etc, atuando assim como centralizador dos sensores, atuadores e comunicação.

A caixa de comando apresentada na figura 8 abriga todo *hardware* necessário para operação do mecanismo, tais como: (i) *Drivers* de motores, (ii) *Raspberry Pi*, (iii) Placa Auxiliar, (iv) Fonte 24V, (v) Fonte 5V, (vi) Distribuidor interno e (vii) chaves ON/OFF e *bypass*.

O hardware do dispositivo opera com 4 níveis de tensão. O nível principal é o da rede elétrica 110/220V que alimenta os níveis secundários: a fonte 24V e a fonte 5V do *Raspberry Pi*. Um quarto nível de tensão utilizado é o 3.3V fornecido pela placa do controlador.

A caixa de comando foi projetada de modo a operar completamente fechada, sem adição de cabos externos (com exceção do cabo de alimentação elétrica). A parte inferior da caixa (figura 27) é fechada com uma placa de acrílico que permite a saída do sinal *wireless* do dispositivo, fixação de terminal para fusível, assim como passagem para os cabos externos do dispositivo (sensores elevação e GPS).



Figura 27– Tampa inferior Caixa de Comando

7 Hardware do Dispositivo

7.2 Sensores e Atuadores

Os sensores empregados no dispositivo são utilizados para:

- a) Monitoramento de posição e velocidade;
- b) Monitoramento de temperatura e umidade interna do dispositivo;
- c) Referência de Zero de curso e fins de curso;

Os atuadores consistem basicamente dos motores de azimute e elevação.

a) Monitoramento de posição e velocidade

O sensoriamento de posição e velocidade é realizado por um par de *encoders* acoplados aos motores de azimute e elevação (consultar o capítulo 6 para maiores detalhes sobre o posicionamento dos mesmos). Realizando a leitura deles a 1 kHz é possível atingir velocidade de até 5 °/s. A leitura desses sensores alimentam o software embarcado, atualizando a posição do dispositivo a cada 1 ms e sua velocidade a cada segundo.

Os *encoders* utilizados são da marca Honeywell e modelo 600-128-CBL. Esse sensor proporciona 128 pulsos por volta de seu eixo em seus dois canais de saída (A e B), portanto, por estarem defasados os dois canais, é possível registrar 512 transições por volta do eixo do sensor. A figura 28 apresenta o encoder utilizado.



Figura 28 – Encoder Honeywell Utilizado

7 Hardware do Dispositivo

b) Monitoramento de temperatura e umidade interna do dispositivo

O monitoramento de temperatura e umidade é realizado pelo sensor DHT11, que realiza as duas medidas. A figura 29 apresenta o sensor.

O intervalo de medição de umidade vai de 20 a 90 % RH com acurácia de $\pm 5\%$ RH, já a temperatura opera na faixa de 0 a 50 °C com acurácia de 2 °C.

O sensor não é de precisão, no entanto, ele serve como medida de mitigação de risco, pois apresenta para o operador o estado do dispositivo. O sensor ajuda a caracterizar termicamente o dispositivo quando em operação, sinalizando assim condições anormais de uso. **Caso seja detectada alta temperatura ou umidade no dispositivo o operador deverá intervir para reverter tal situação.**

O sensor utiliza um protocolo próprio de comunicação utilizando somente uma linha para comunicação. A figura 30 apresenta a linha de comunicação em uma transação de dados como exemplo.



Figura 29– Sensor DHT11

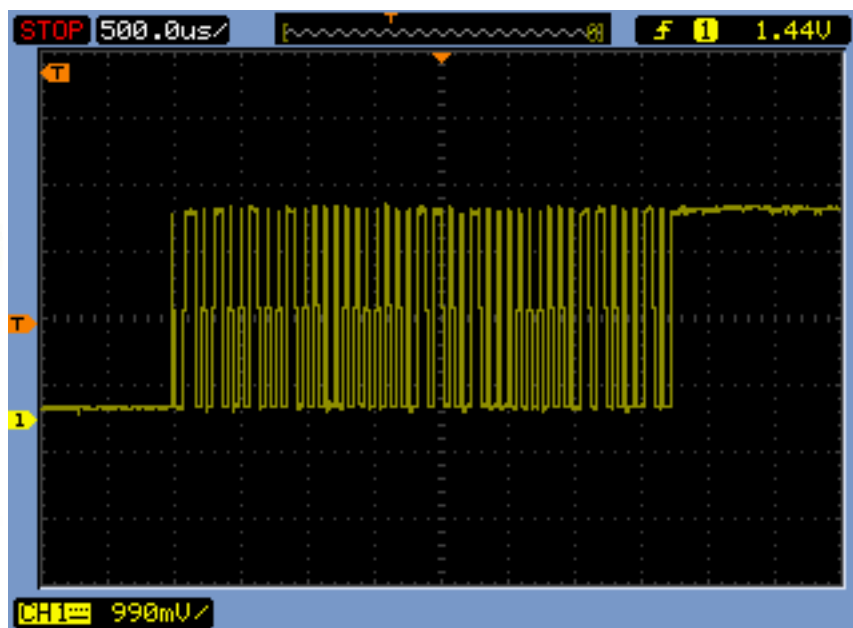


Figura 30– Comunicação DHT11

7 Hardware do Dispositivo

c) Referência de Zero de curso e fins de curso

O dispositivo possui chaves de final de curso nos eixos de azimute e elevação. O objetivo dessas chaves é garantir que o dispositivo opere somente dentro do curso projetado para o mesmo. Ao serem acionadas, as chaves desligam a energia do *driver* de acionamento do respectivo motor e sinalizam o acionamento da chave no painel de sensores da IHM (ver capítulo 5).

A sinalização do acionamento das chaves é realizada através da placa auxiliar, ela utiliza a alimentação 24V desviada do *driver* de acionamento para sinalizar a ação de pressionamento de alguma chave de final de curso. Os botões de final de curso de azimute e elevação podem ser observados nas figuras 31 e 32.

Caso uma chave de final de curso seja acionada, não será possível movimentar o dispositivo naquele eixo. De modo a permitir uma restauração do sistema, utiliza-se então a chave *bypass* de energia para retirá-lo do final de curso e posicioná-lo corretamente.

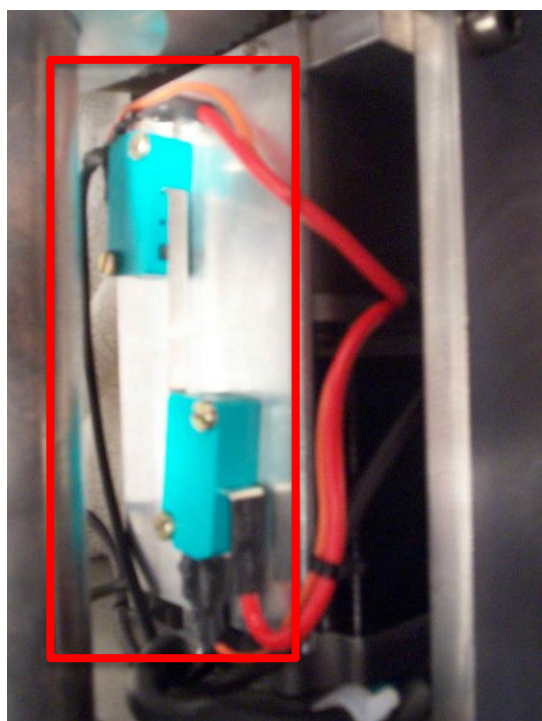


Figura 31– Fim de Curso Azimute

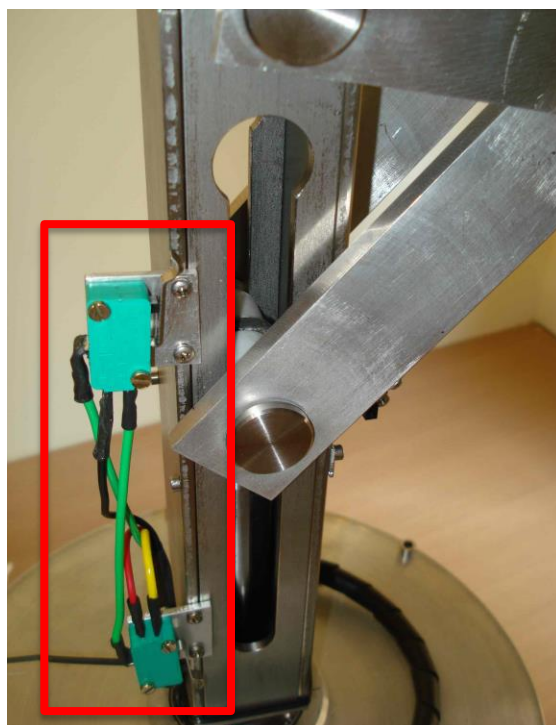


Figura 32 - Fim de Curso Elevação

7 Hardware do Dispositivo

As chaves *bypass* encontra-se logo acima do *driver* de acionamento do motor eixo escolhido, e **está acionada quando pressionada para o lado direito**, ou seja, sua posição de operação deve ser acionada para esquerda, com exceção nos momentos de reposicionamento ao atingir o fim de curso. A figura 33 apresenta a localização das chaves *bypass* e *On/Off*.

Atenção: Não Deixe o dispositivo operar com as chaves bypass de energia ligadas, isso poderá danificar o equipamento caso haja desatenção do operador. As chaves bypass são para uso exclusivo em situações de chegada de final de curso inesperado.

A chave de On/Off tem sua posição desligada quando acionada para cima, ao ser acionada para baixo liga a fonte de energia 24V e a fonte do *Raspberry Pi*.

O fusível acoplado à entrada de energia do dispositivo é de 10 A, podendo assim o dispositivo consumir ao total essa corrente operando a 110/220V. O distribuidor interno do dispositivo permite a utilização de dois ramais de energia 110/220V que podem ser utilizados diretamente de dentro da caixa de comando.

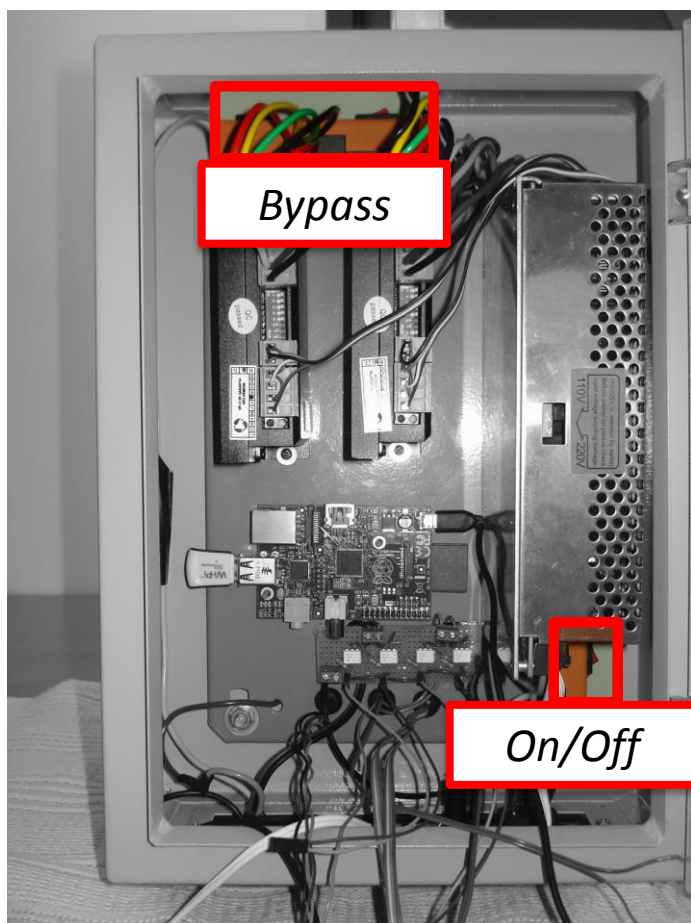


Figura 33 – Chaves Bypass e On/Off

7 Hardware do Dispositivo

7.3 Placas Eletrônicas

O dispositivo possui 2 placas eletrônicas principais, uma fonte 24V e os *drivers* de motores de passo.

A placa *Raspberry Pi* é a principal pois é o computador do dispositivo e possui um processador baseado no conceito SoC (System-on-a-Chip) que fornece um processador ARM de 700MHz e 512K de memória RAM, com armazenamento de dados utilizando cartão SD. A placa roda uma distribuição de linux para a placa (Debian 6) que facilita o desenvolvimento de aplicações embarcadas. A figura 34 apresenta a placa.



Figura 34 – Placa *Raspberry Pi*

A placa auxiliar ajuda na interface entre os sensores de final de curso e a placa principal, ela possui 4 canais opto-acoplados para fornecer a informação de pressionamento de qualquer uma das chaves de fim de curso para as entradas digitais do *Raspberry Pi* e apresentação na IHM. A figura 35 apresenta a placa auxiliar.

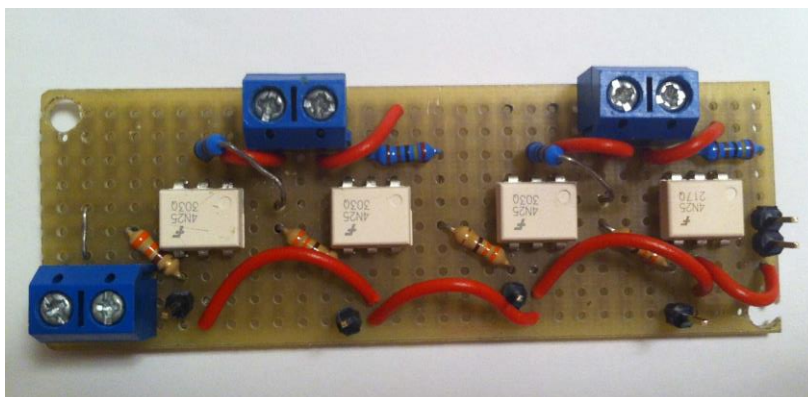


Figura 35 – Placa Auxiliar

7 Hardware do Dispositivo

Além das placas o dispositivo possui também uma fonte 24 V com capacidade de 10 A para alimentação dos motores e seus *drivers*. A figura 36 apresenta a fonte 24V.

A eletrônica está completa com os *drivers* de motores de passo da Akiyama modelo AKDMP16-4.2A. Esse *driver* suporta correntes de até 4.2 A, fornecendo ampla faixa de operação com micro-passos. Mais informações podem ser obtidas através do datasheet do driver, sendo eles apresentado dentro da caixa na figura 37.



Figura 36 – Fonte 24 V



Figura 37 – Drivers Motores de Passo

7 Hardware do Dispositivo

7.4 Conexões com o Raspberry Pi

As conexões com o processador é realizada através dos headers de pinos P1, P2, P3 e P5. A figura 38 apresenta todas as conexões com relação aos cabos.

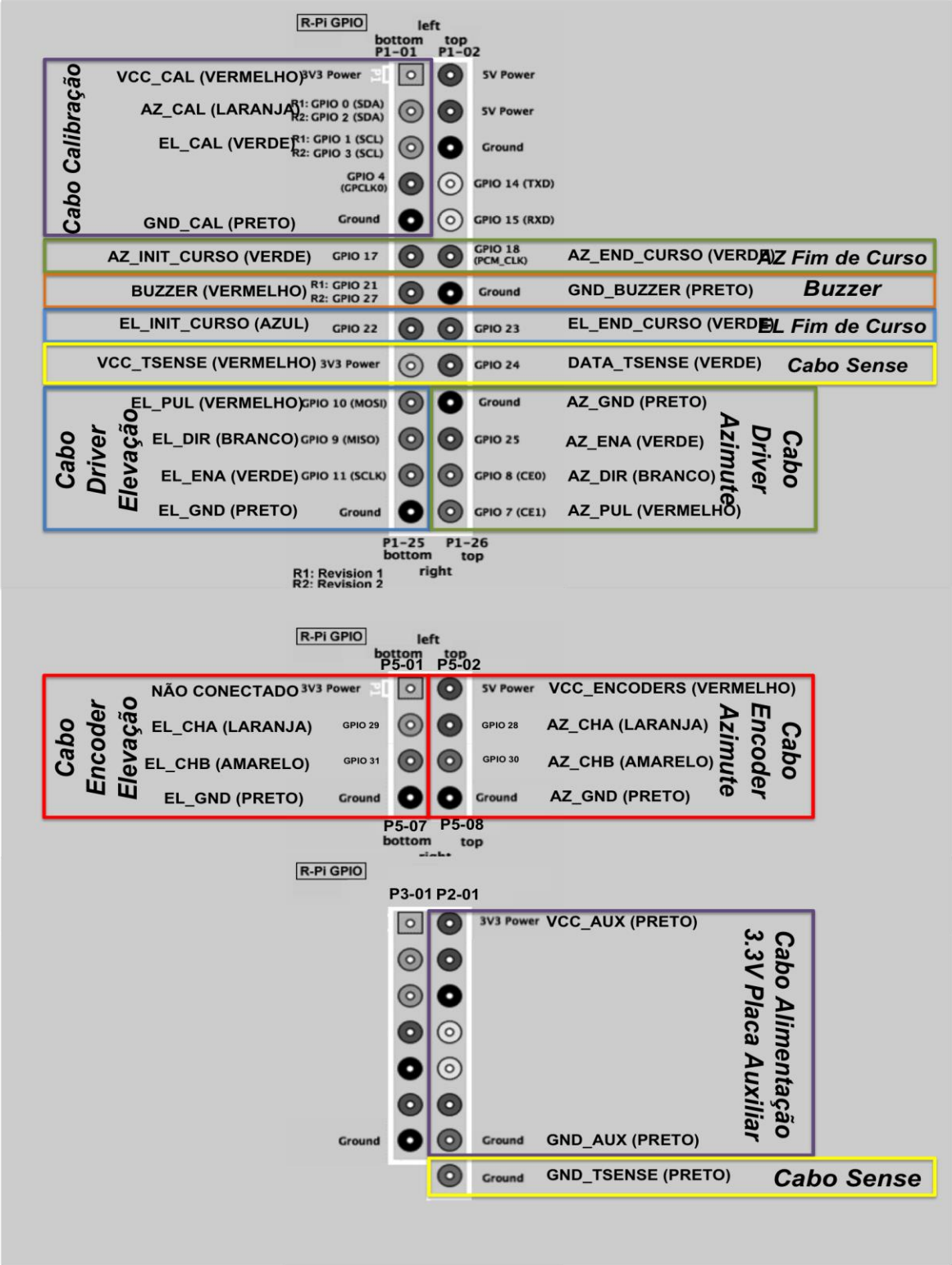


Figura 38 – Conexões com Raspberry Pi

8 Montagem do Posicionador

A montagem do dispositivo se inicia com a parte mecânica montada (figura 3). A montagem deve ser realizada por pessoas treinadas, preferencialmente da oficina mecânica do IAG.

Após a montagem mecânica devem ser seguidos os passos expressos abaixo:

a) Inserção do módulo Central no corpo do dispositivo

Esse passo consiste em inserir o módulo central montado com todos os cabos internos dentro do corpo do dispositivo. **É importante que os cabos sejam inseridos com cuidado evitando danificá-los. Atentar para localização das buchas de fixação e os furos da tampa do dispositivo.**

O módulo central deve ser inserido de modo que os cabos fiquem orientados na direção dos furos para passagem dos mesmos. Inicialmente, devem ser direcionados os cabos nas passagens correspondentes para direcionamento dos mesmos, e a inserção do módulo central deve ser realizada cuidadosamente.



Figura 39 – Elementos do Dispositivo



Figura 40 – Inserção do módulo Central

8 Montagem do Posicionador

b) Adequação dos cabos e caixa de comando

Após inserido o módulo central, os cabos devem ser passados na íntegra e acomodados como apresenta a figura 41. Os cabos do motor e sensor de elevação devem ser acomodados na posição final do curso e então adequados de maneira já torcida.

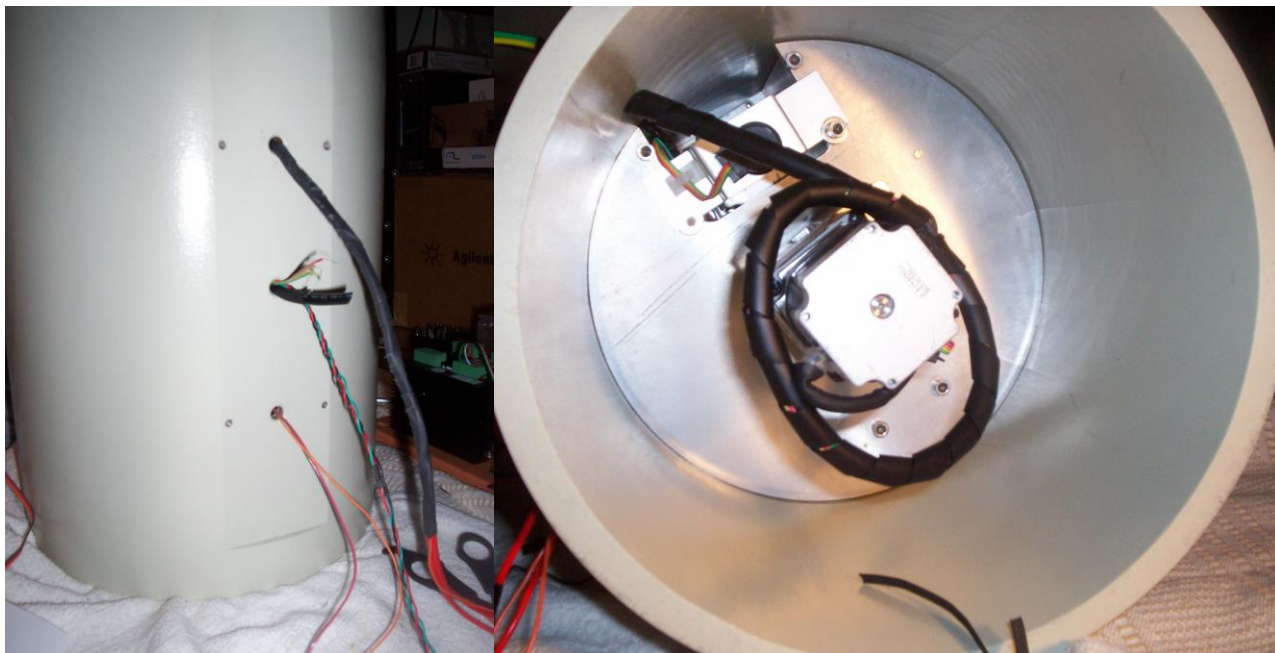


Figura 41 – Adequação de Cabos

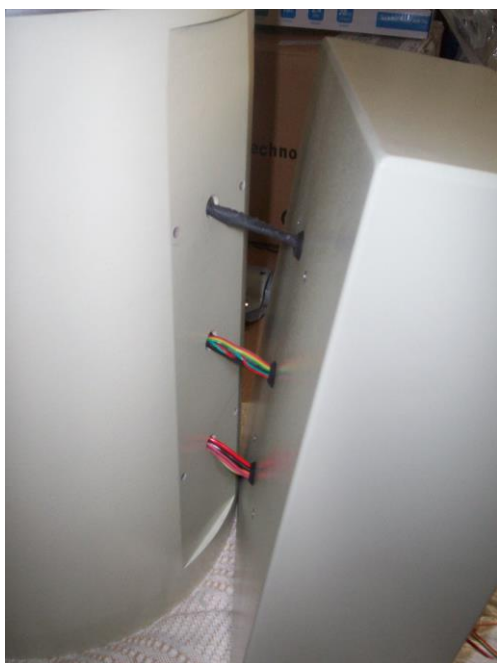


Figura 42 – Cabos e Caixa

A caixa de comando deve ser presa ao corpo do dispositivo com auxílio de 4 parafusos, no entanto, antes devem ser instalados os anéis de borracha de vedação no fundo da caixa. Após a instalação da vedação para os furos de passagem de cabos, os cabos devem ser inseridos nos furos da caixa de comando, permitindo assim que os cabos estejam na caixa para executar as conexões.

Após essas etapas, a caixa pode ser fixada com o uso de 4 parafusos.

8 Montagem do Posicionador

c) Montagem da Caixa de Comando

Após a passagem dos cabos e a fixação da placa de comando (placa laranja) a caixa deverá estar como apresentado na figura 43.



Figura 43 – Caixa de Comando

A montagem e passagem dos cabos e conexão deve seguir o diagrama elétrico do sistema, assim como o esquema de conexões apresentado na figura 38 deste manual. Com os cabos devidamente passados a caixa se encontrará como apresenta a figura 44.

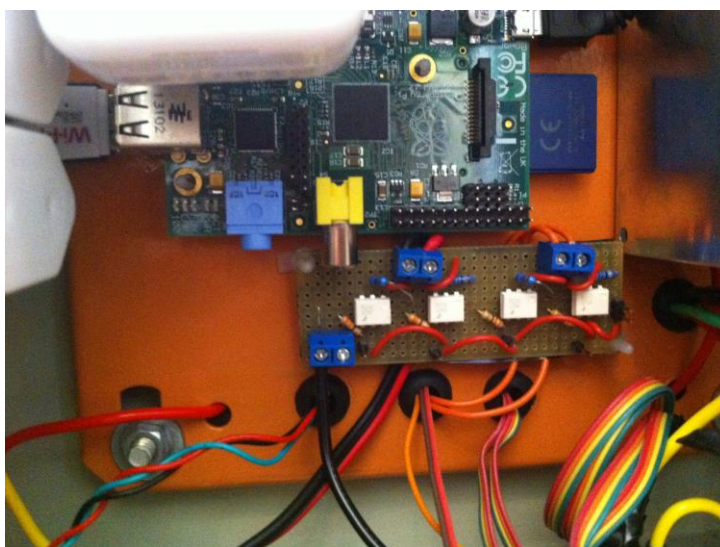
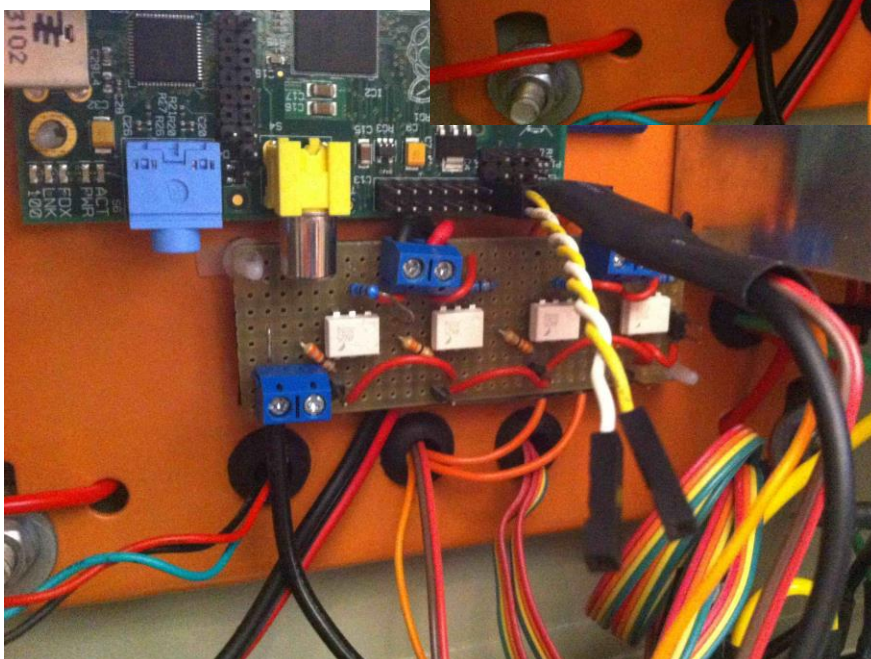
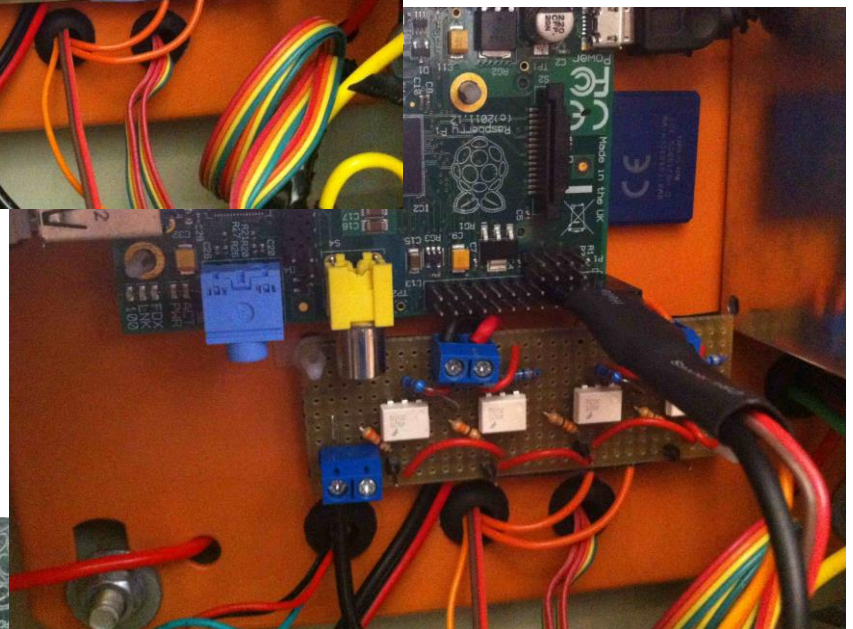
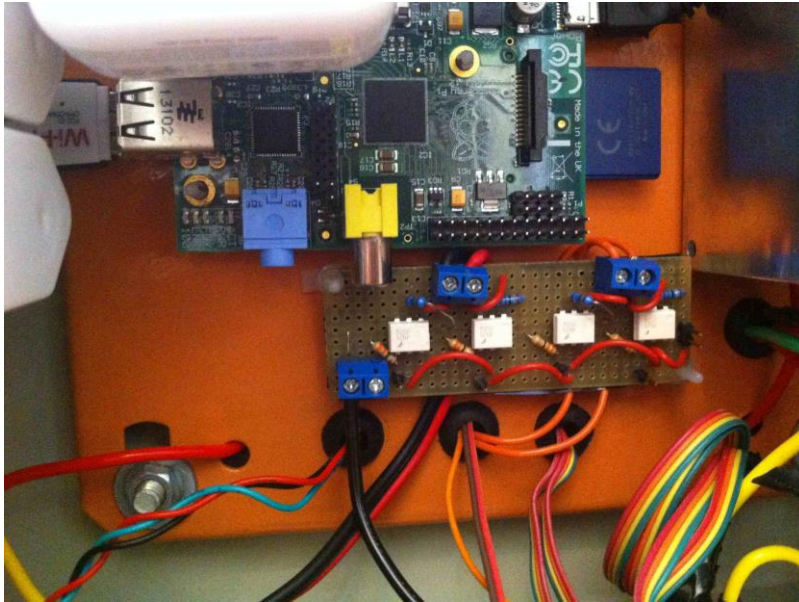


Figura 44 – Cabos instalados

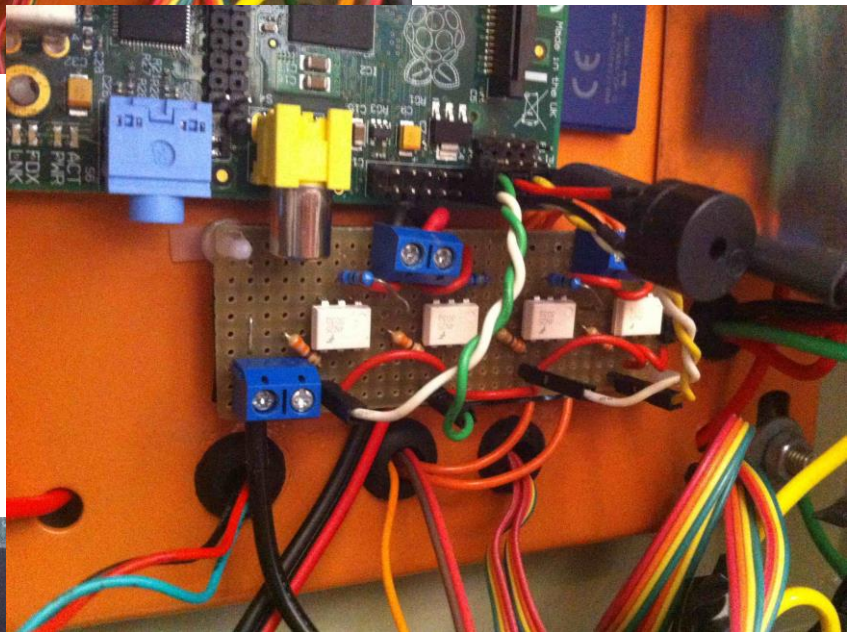
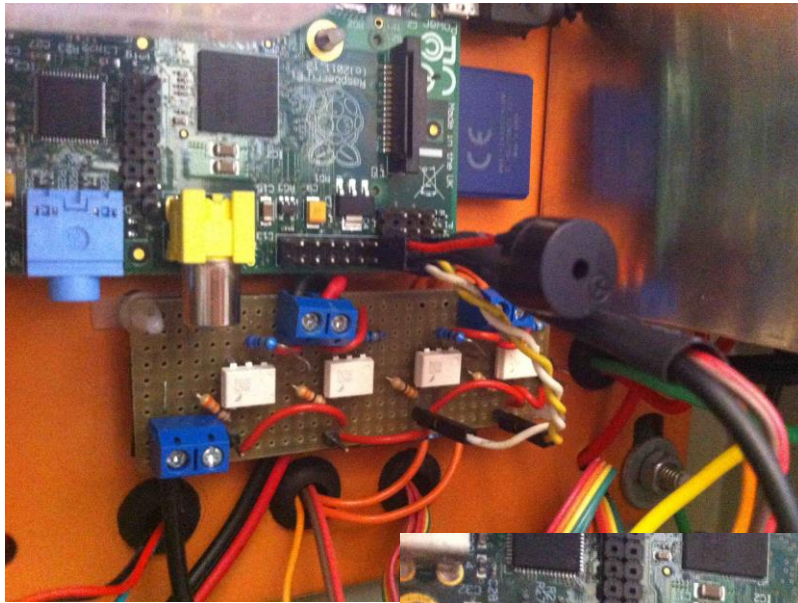
8 Montagem do Posicionador

d) Conexões do Raspberry Pi

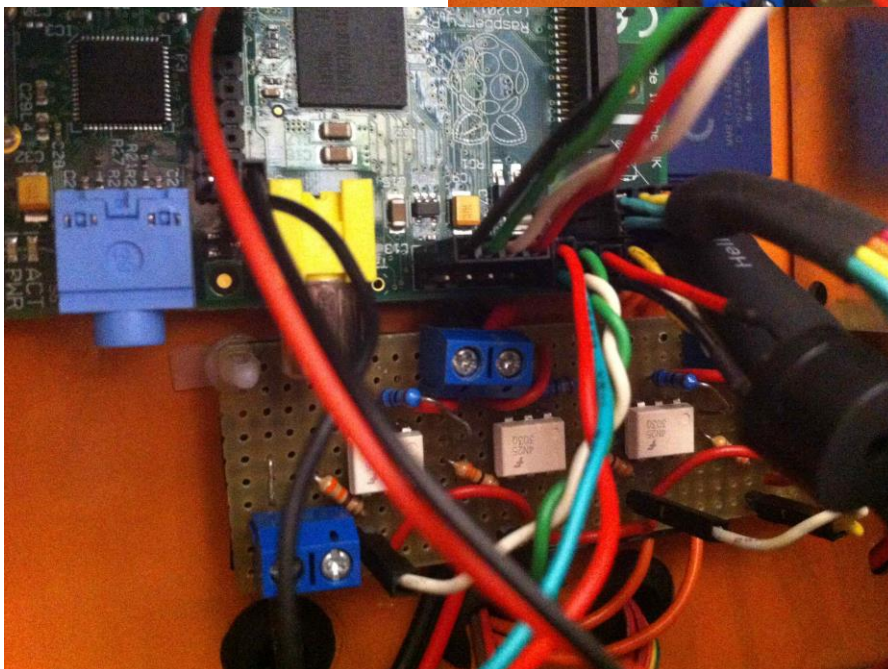
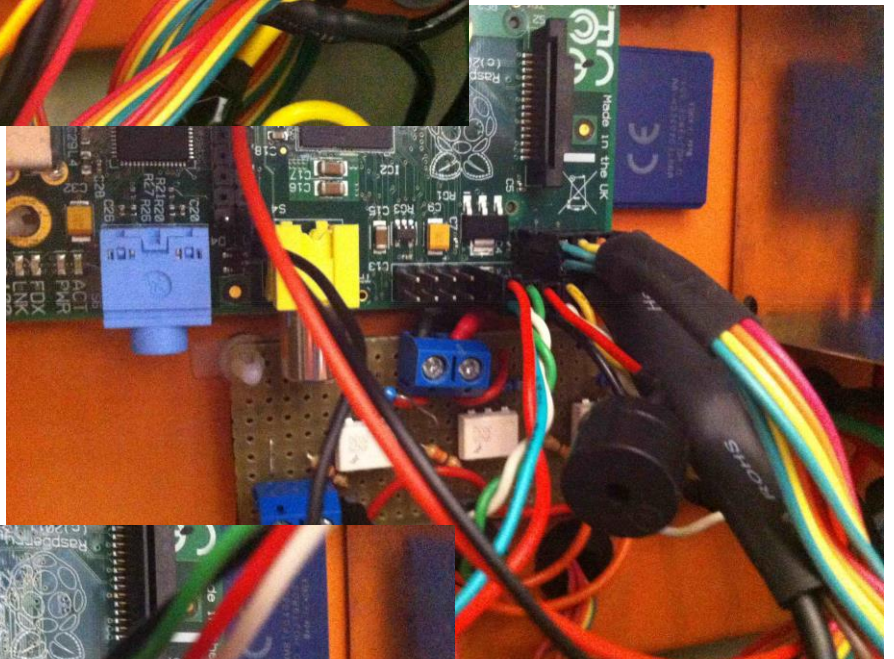
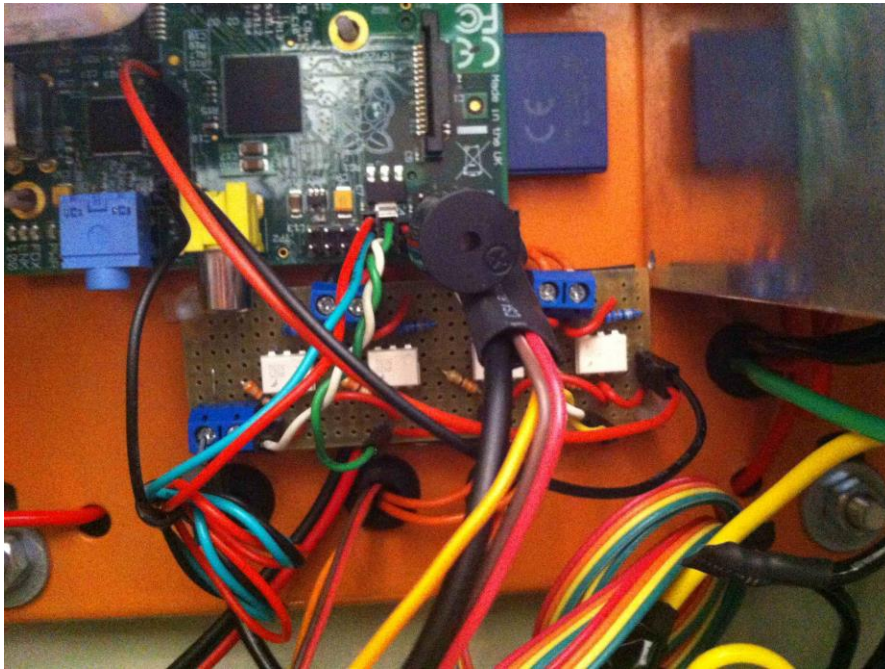
Siga a ordem das figuras para efetuar a correta montagem dos cabos.



8 Montagem do Posicionador



8 Montagem do Posicionador



9 Montagem do Posicionador



Foto caixa de comando Montada

9 Configurações Avançadas

Projeto de Adaptadores para Sensores

Os adaptadores devem ser desenvolvidos para acoplar os sensores desejados. Esse *design* contempla o requisito do dispositivo posicionador poder atuar com diversos tipos de sensores.

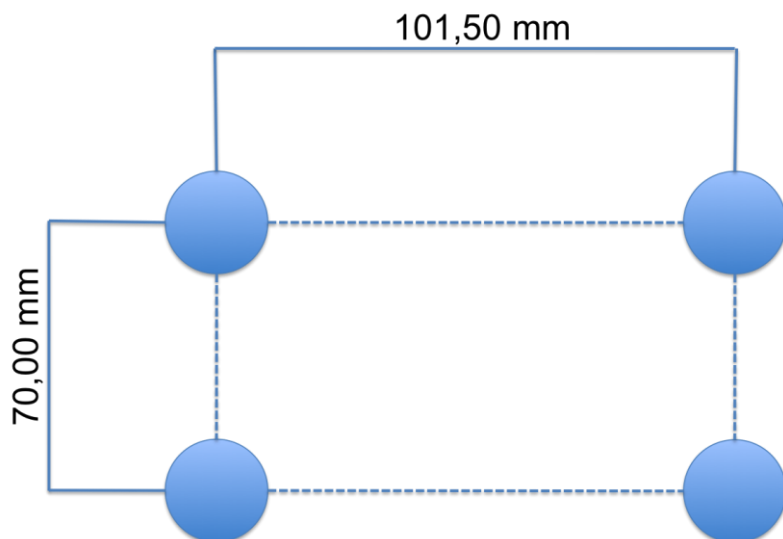


Figura 45 – Furação Adaptador

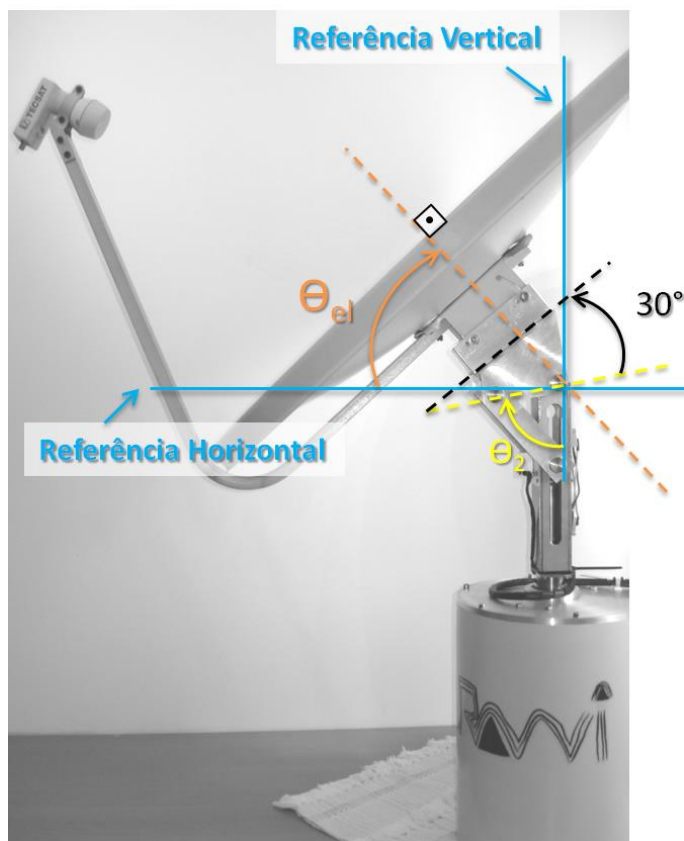


Figura 46 – Exemplo Alinhamento

O posicionador possui uma furação específica (**M5**) que deve ser seguida no projeto da base adaptadora. Vale ressaltar que é importante observar essa furação, assim como os limites físicos do próprio mecanismo.

O centro do adaptador deve ficar alinhado com a base de fixação, assim como o eixo de giro, permitindo assim que o sensor esteja alinhado corretamente como demonstra a figura 46.

9 Configurações Avançadas

Para conexão com dispositivo podem ser utilizados dois tipos de conexão: sem fio e cabeada (RJ 45).

a) Conexão Wireless

A conexão sem fio é padrão para operação no dispositivo, pois o computador embarcado está configurado para criar uma rede sem fio *ad hoc* através de um adaptador wireless. O computador age como *host* da rede, distribuindo assim endereços IP através de um servidor DHCP. Para conexão com o dispositivo através da rede sem fio devem ser seguidos os seguintes passos:

- 1) Acessar a rede pelo computador que executará a IHM de comando;
- 2) Utilizar o endereço IP 192.168.1.1 para conexão.

A conexão sem fio deve ser utilizada sempre que possível, pois evita a adição de cabos externos e mantém a caixa de comando devidamente fechada. No entanto, pode ser utilizada a conexão cabeada em ambientes controlados caso o computador que executará a IHM não possua capacidade para acesso a redes sem fio.

b) Conexão Cabeada

A conexão cabeada é realizada através de um cabo de *ethernet* (RJ-45), não é necessário um cabo *crossover*. O computador deve atuar compartilhando a conexão com o dispositivo, fornecendo assim um endereço IP para o mesmo. O endereço fornecido será utilizado na conexão. Para conexão com o dispositivo devem ser seguidos os seguintes passos:

- 1) Conectar o dispositivo e o computador IHM através do cabo;
- 2) Buscar no computador IHM o endereço IP fornecido. (Ex: MacOS – no terminal digitar: **grep OFFER /var/log/system.log**)
- 3) Utilizar o endereço IP fornecido ao dispositivo para conexão.

9 Configurações Avançadas

Caso ocorra algum problema na conexão verifique as configurações de rede. **O endereço IP para conexão é de extrema importância, assim como as configurações da máscara de rede.**

Antes de conectar teste a conexão com um comando ping com o endereço do dispositivo (Ex: Arani IP = 192.168.1.20) :

ping 192.168.1.20

O retorno desse comando mostrará se uma conexão poderá ser estabelecida, assim como o estado da mesma.

Caso seja necessária uma investigação aprofundada de problemas de conexão, rede *wireless* inexistente, etc, pode ser acessado o arquivo de configurações de rede do dispositivo. No computador do dispositivo Arani (Raspberry Pi) acessar o arquivo através do editor nano:

nano /etc/network/interfaces

Verifique o conteúdo do mesmo, se está compatível com o conteúdo abaixo:

auto lo

iface lo inet loopback

iface eth0 inet dhcp

auto wlan0

iface wlan0 inet static

address 192.168.1.1

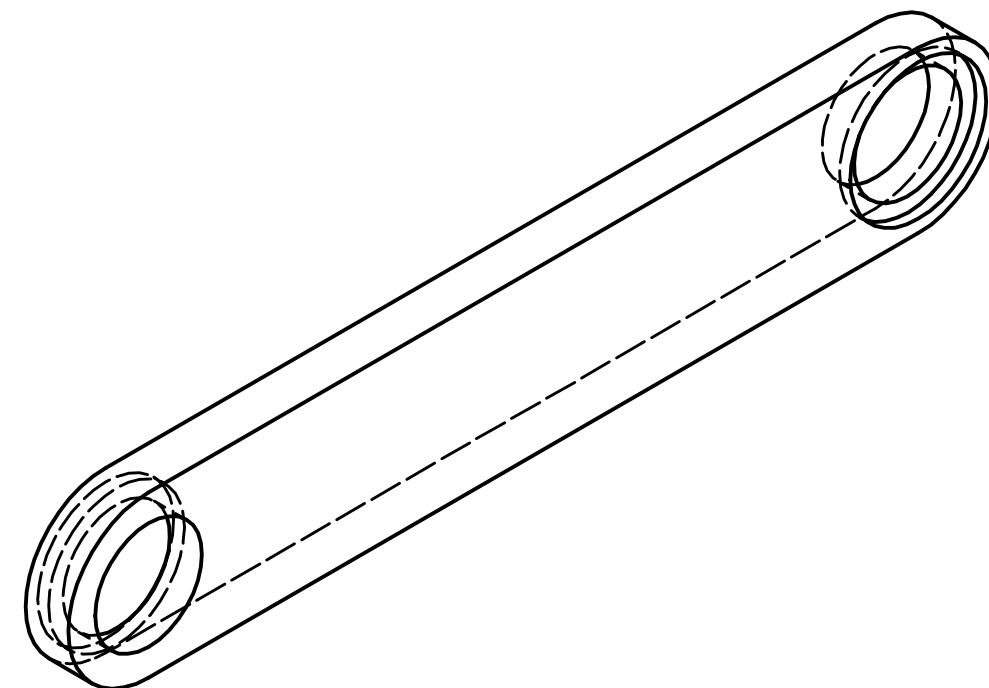
netmask 255.255.255.0

wireless-channel 1

wireless-essid AraniStorm

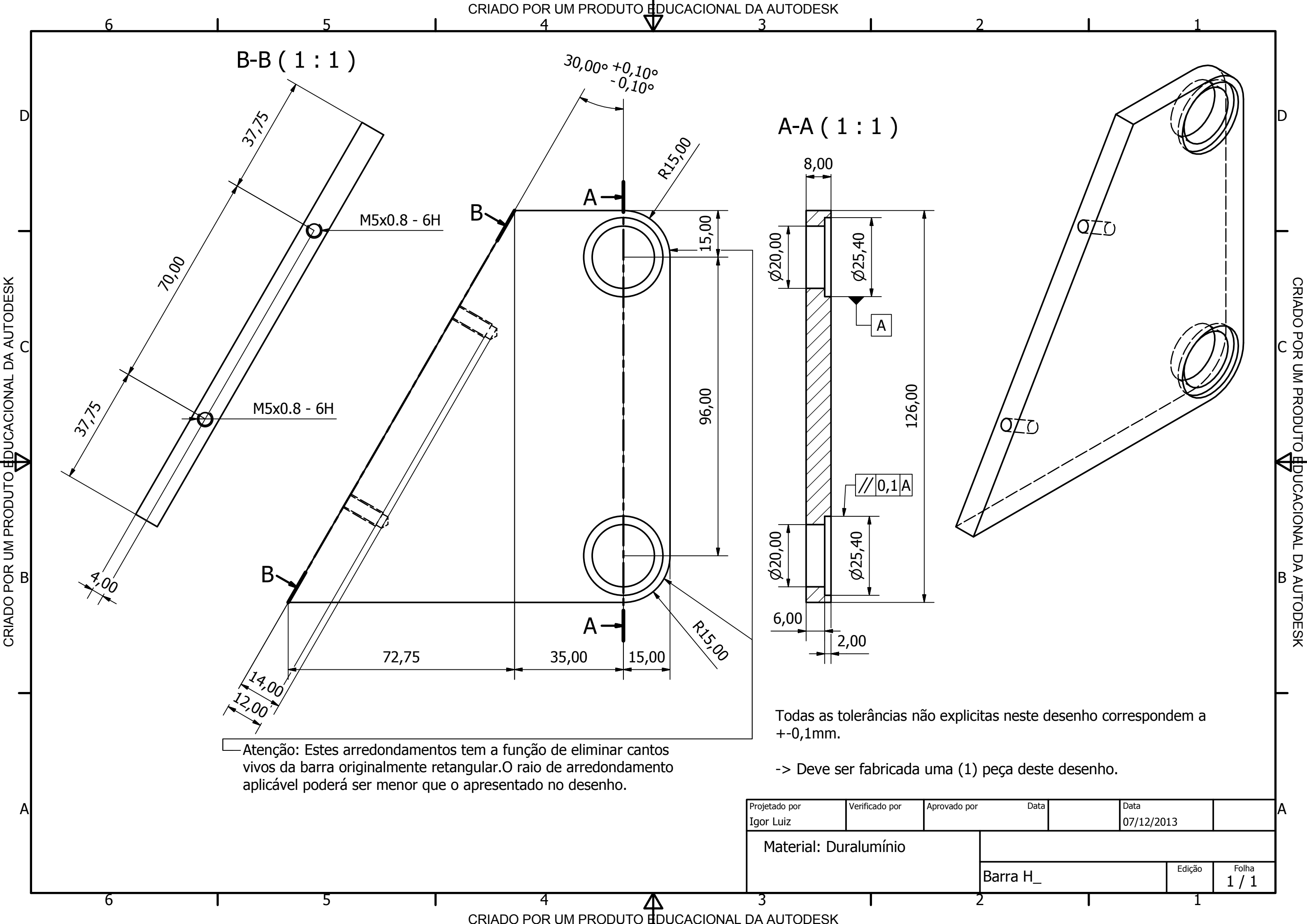
wireless-mode ad-hoc

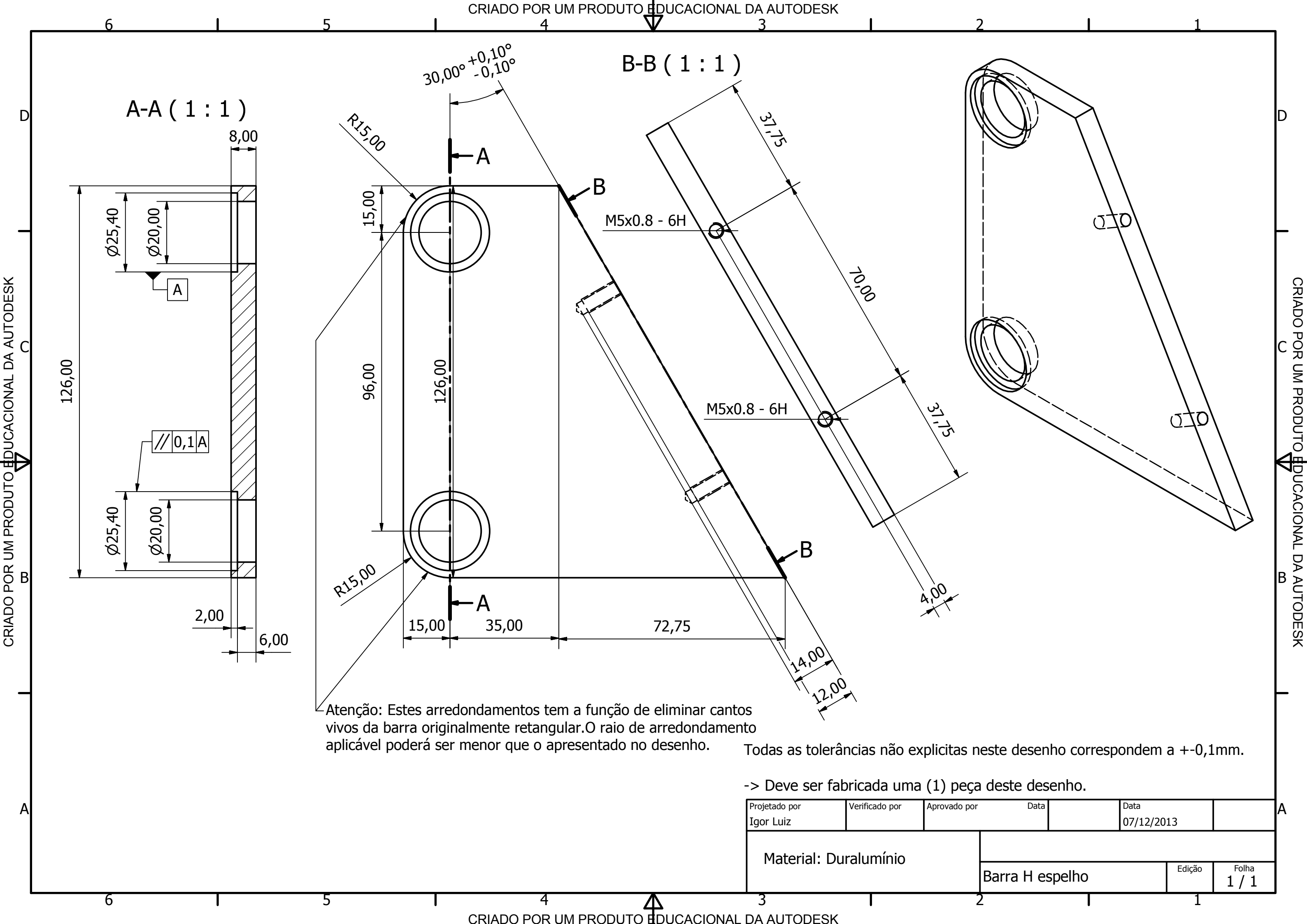
B) Desenhos de Fabricação

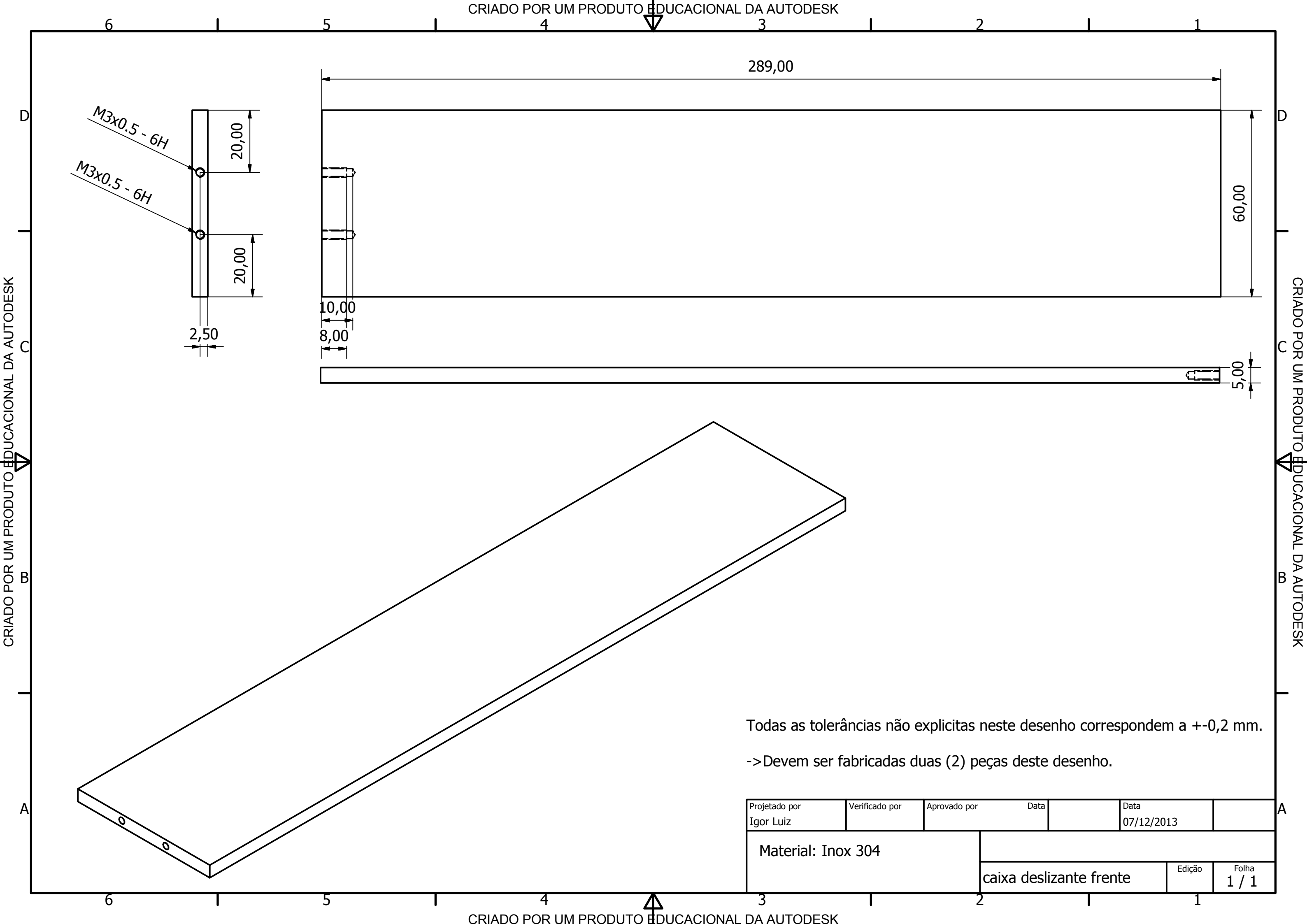


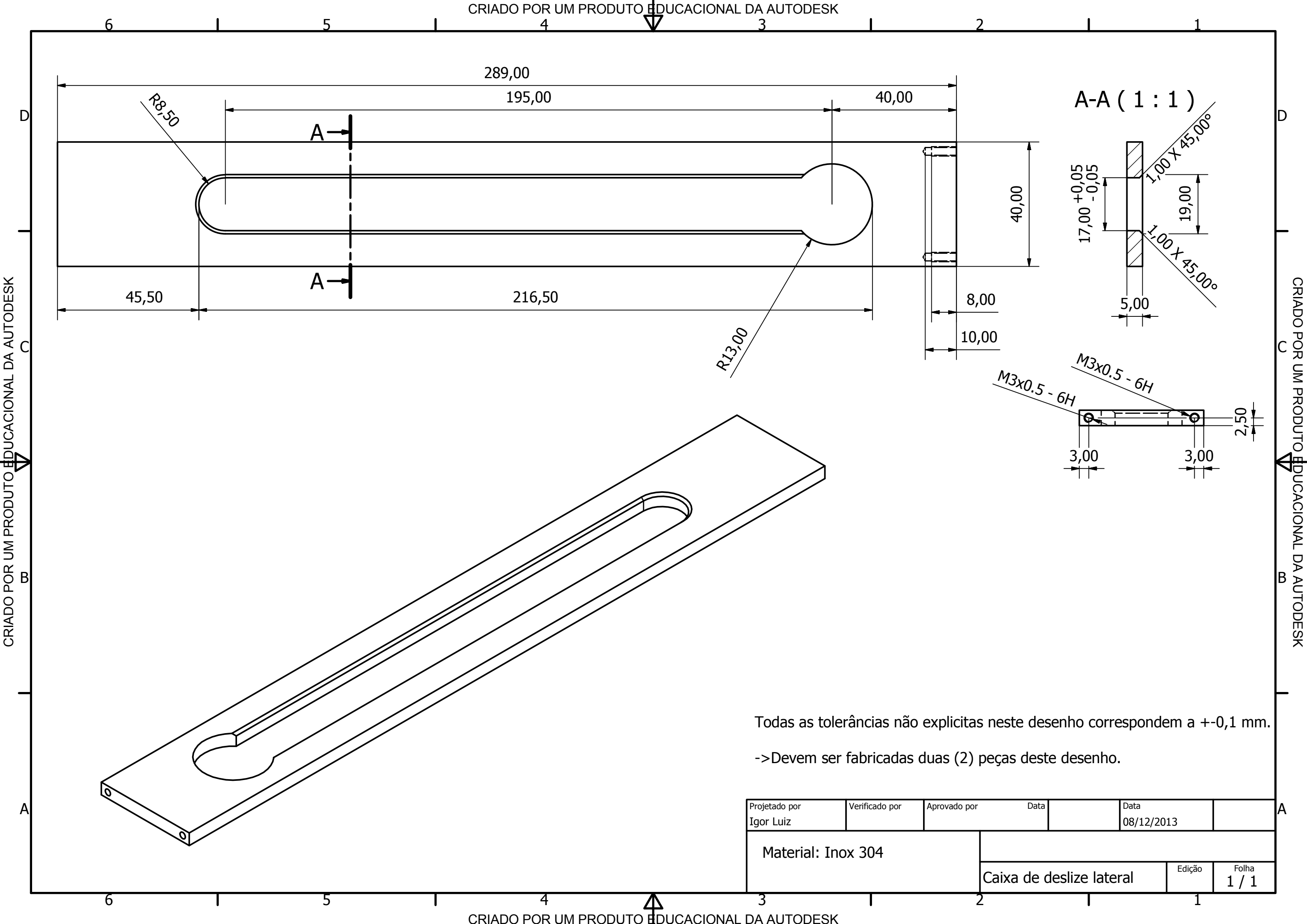
->Devem ser fabricadas duas (2) peças desse desenho.

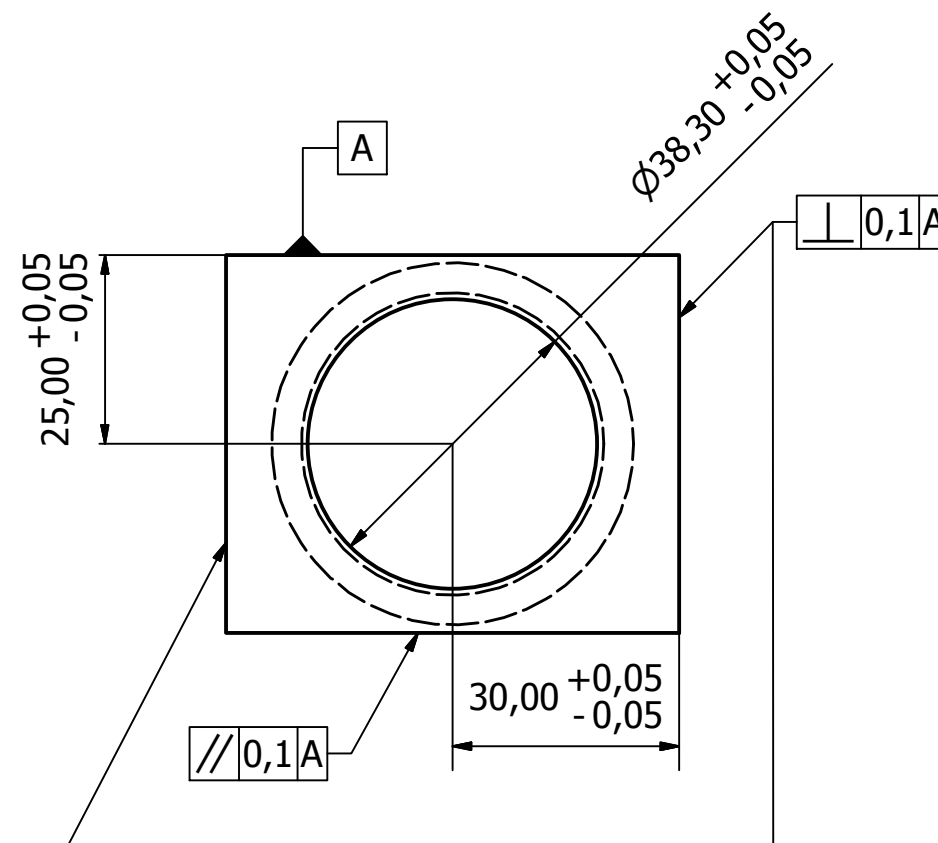
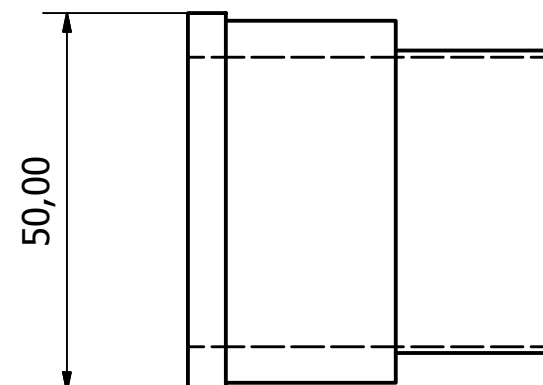
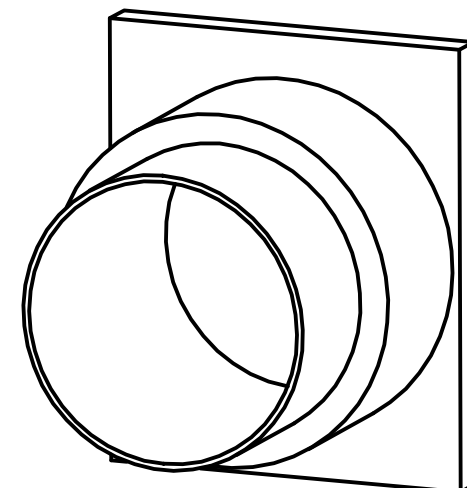
Projetado por Igor Luiz	Verificado por	Aprovado por	Data 07/12/2013
Material: Duralumínio			
		Barra L-01	Edição Folha 1 / 1





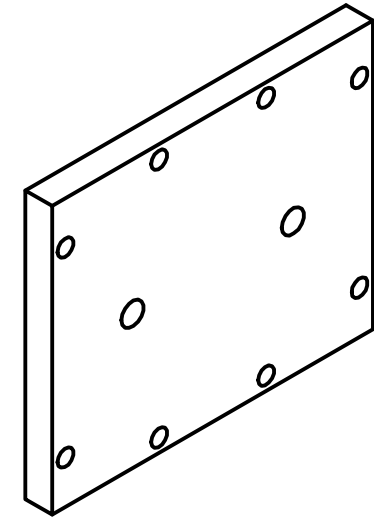
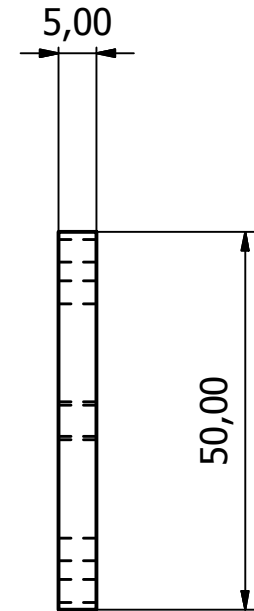
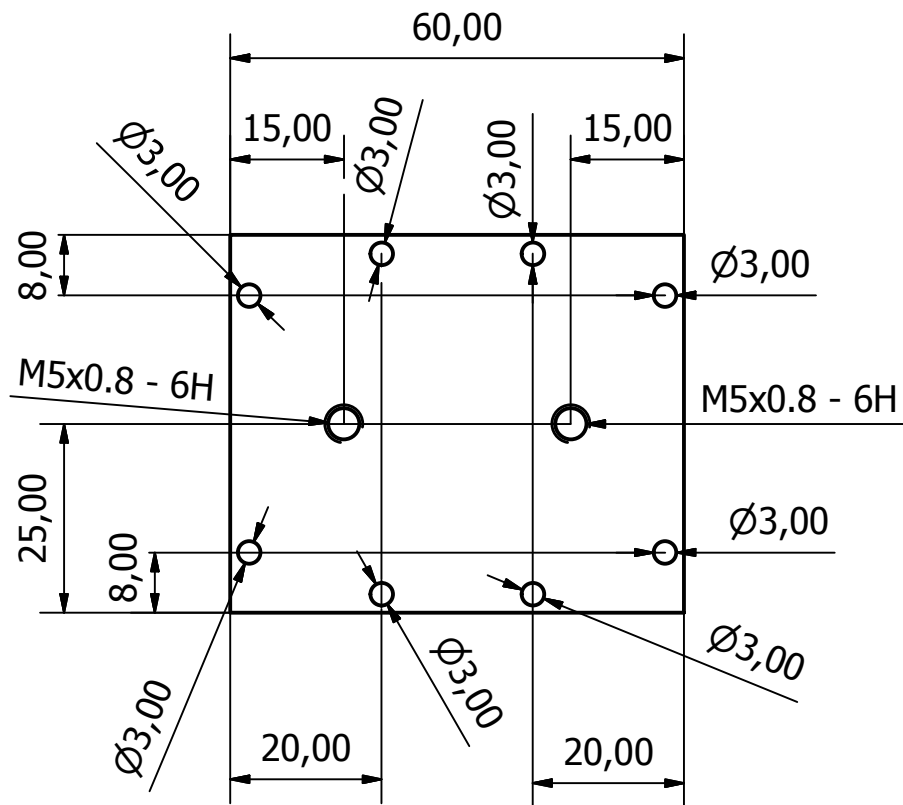






->Deve ser fabricada uma (1) peça deste desenho.

Projetado por Igor Luiz	Verificado por	Aprovado por	Data 08/12/2013	
Material: Inox 304				
		Caixa de deslize inferior	Edição	Folha 1 / 1

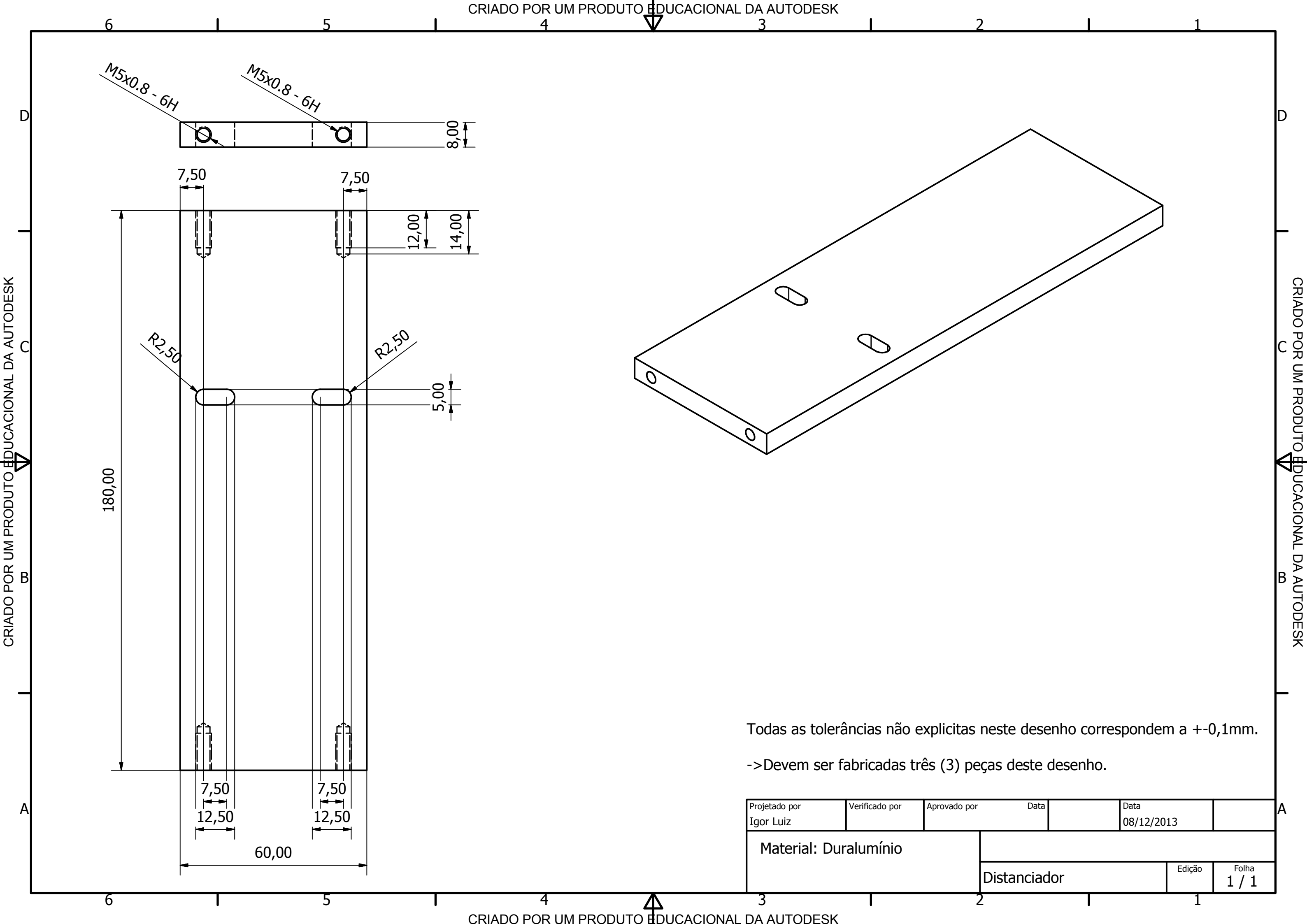


Todas as tolerâncias não explicitas neste desenho correspondem a $\pm 0,1\text{mm}$.

-> Deve ser fabricada uma (1) peça deste desenho.

Projetado por Igor Luiz	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	
				08/12/2013	
Material: Inox 304			Caixa deslizante Tampa		
			Edição	Folha 1 / 1	

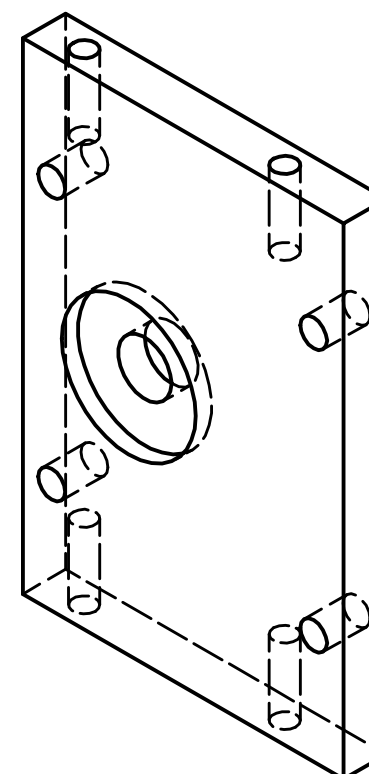
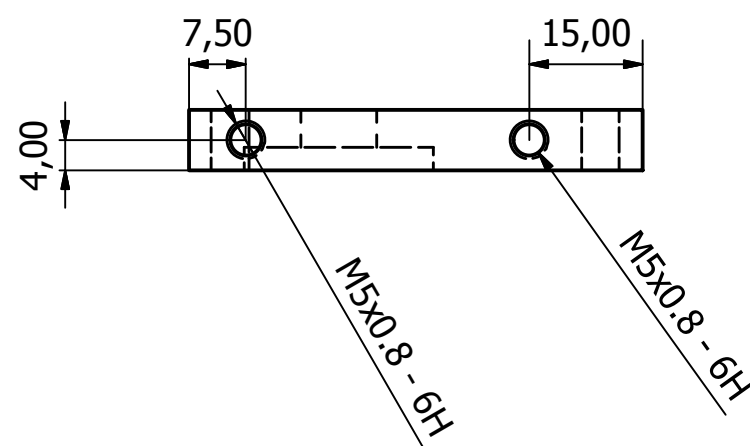




Todas as tolerâncias não explicitas neste desenho correspondem a $\pm 0,1\text{mm}$.

-> Devem ser fabricadas três (3) peças deste desenho.

Projetado por Igor Luiz	Verificado por	Aprovado por	Data		Data	
			08/12/2013			
Material: Duralumínio						
			Distanciador		Edição	Folha
						1 / 1

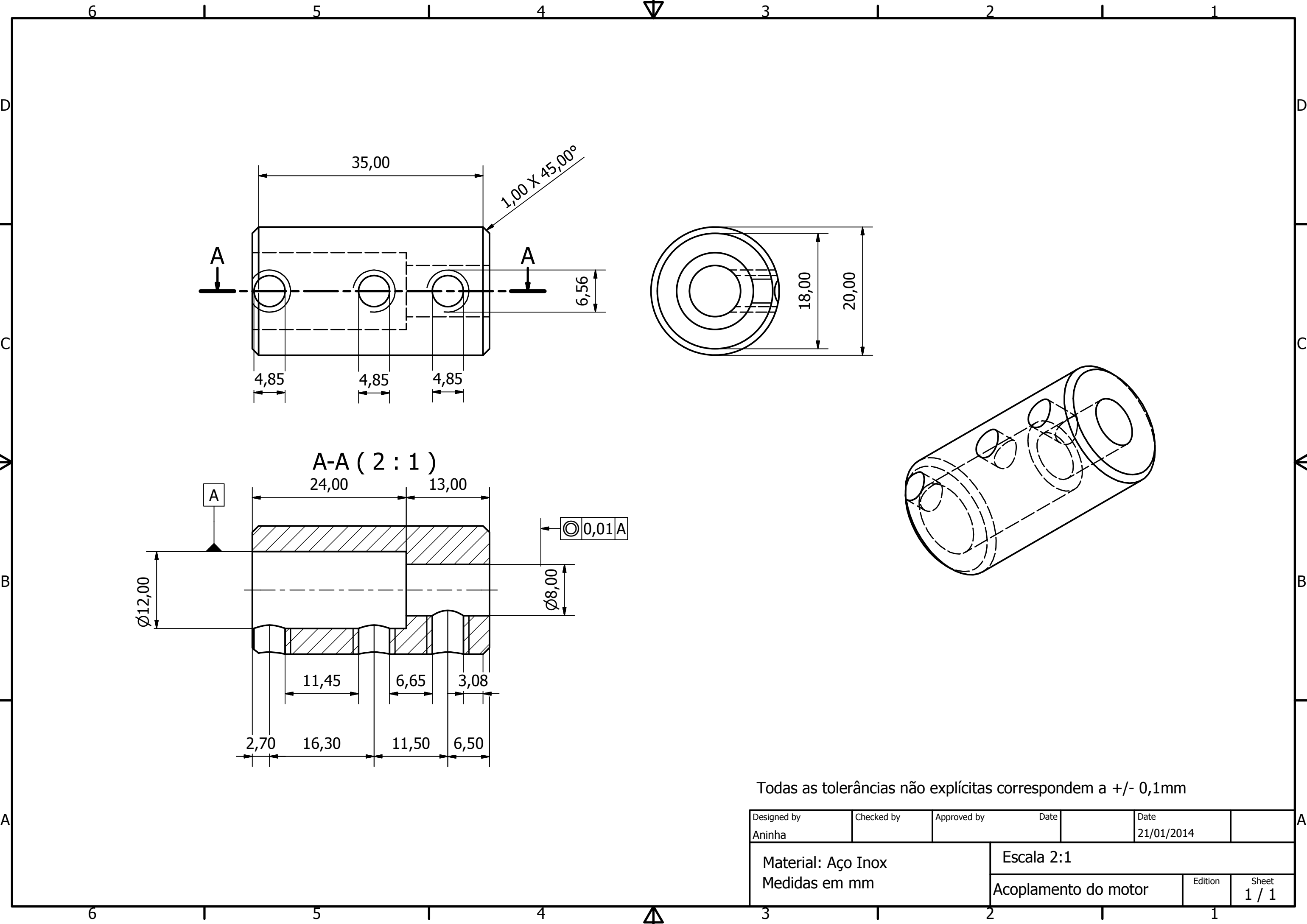


->Deve ser fabricada uma (1) peça deste desenho.

Projetado por Igor Luiz	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	
				08/12/2013	
Material: Duralumínio					
			Sup. do motor	Edição	Folha 1 / 1

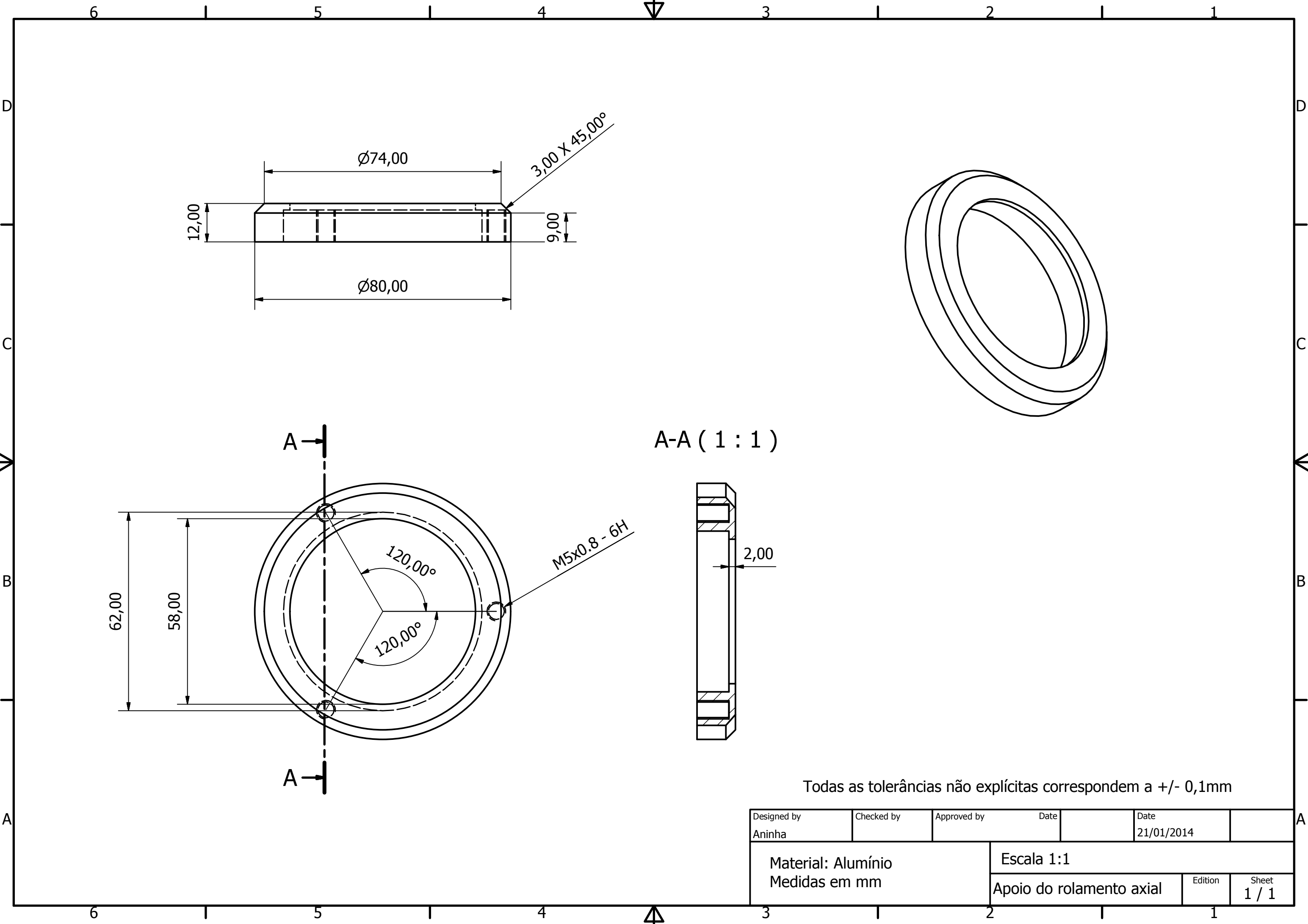


Projetado por Igor Luiz	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	
				08/12/2013	
Material: Duralumínio					
			Base Fixadora motor declinação		Edição 1 / 1

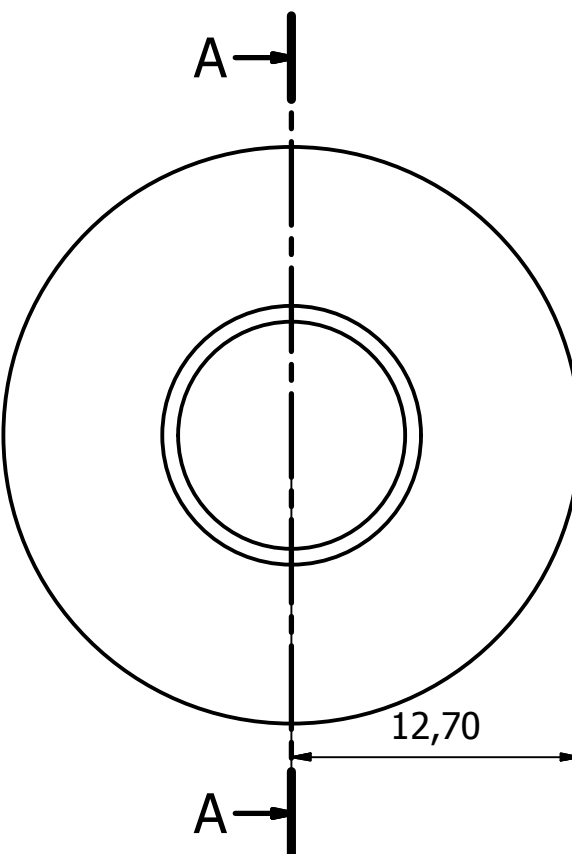
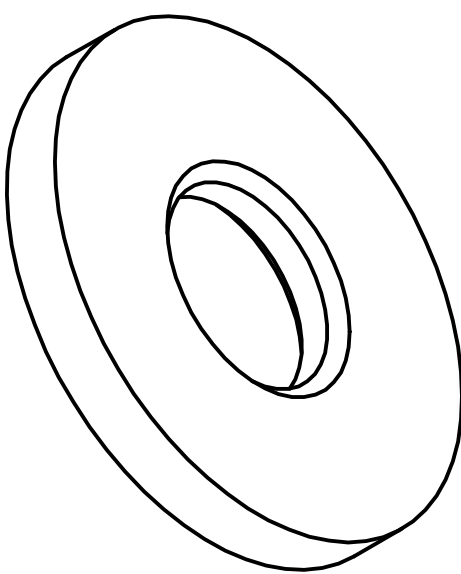
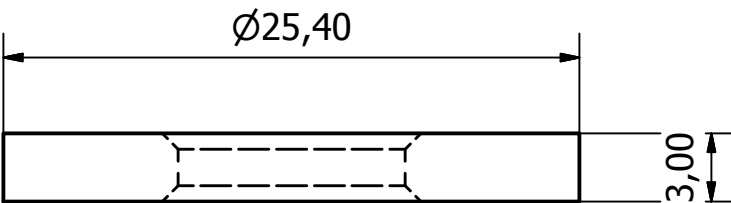


Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

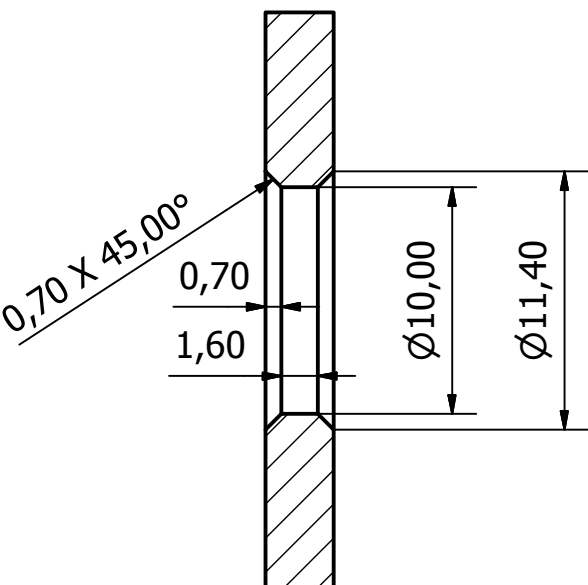
Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date	Date 21/01/2014	
Material: Aço Inox Medidas em mm			Escala 2:1		
			Acoplamento do motor	Edition	Sheet 1 / 1



Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 21/01/2014
Material: Alumínio Medidas em mm		Escala 1:1	
		Apoio do rolamento axial	Edition Sheet 1 / 1

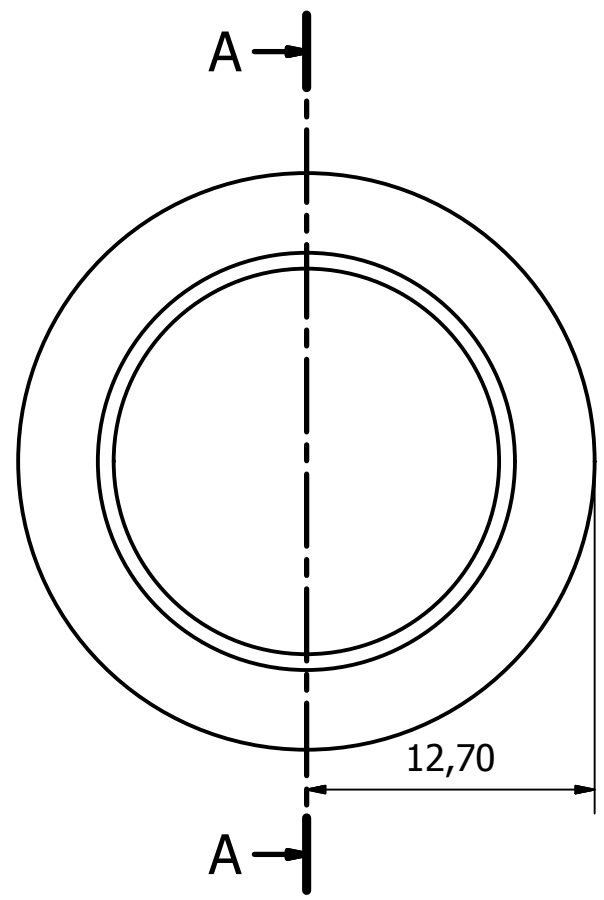
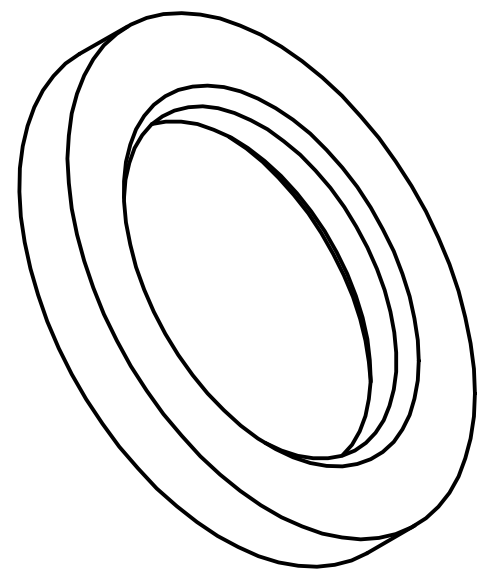
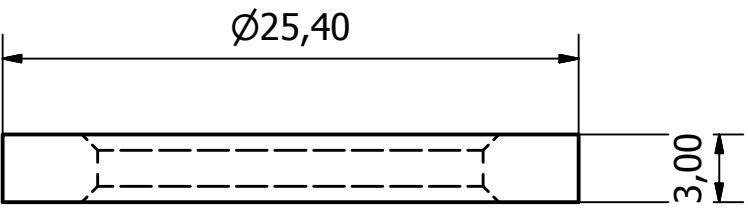


A-A (3 : 1)

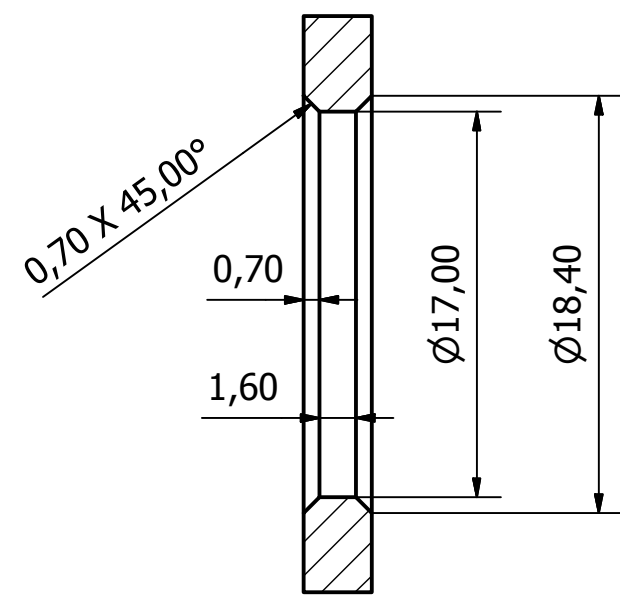


Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014	
Material: Teflon Medidas em mm		Escala 3:1		
		Arruela teflon menor	Edition	Sheet 1 / 1

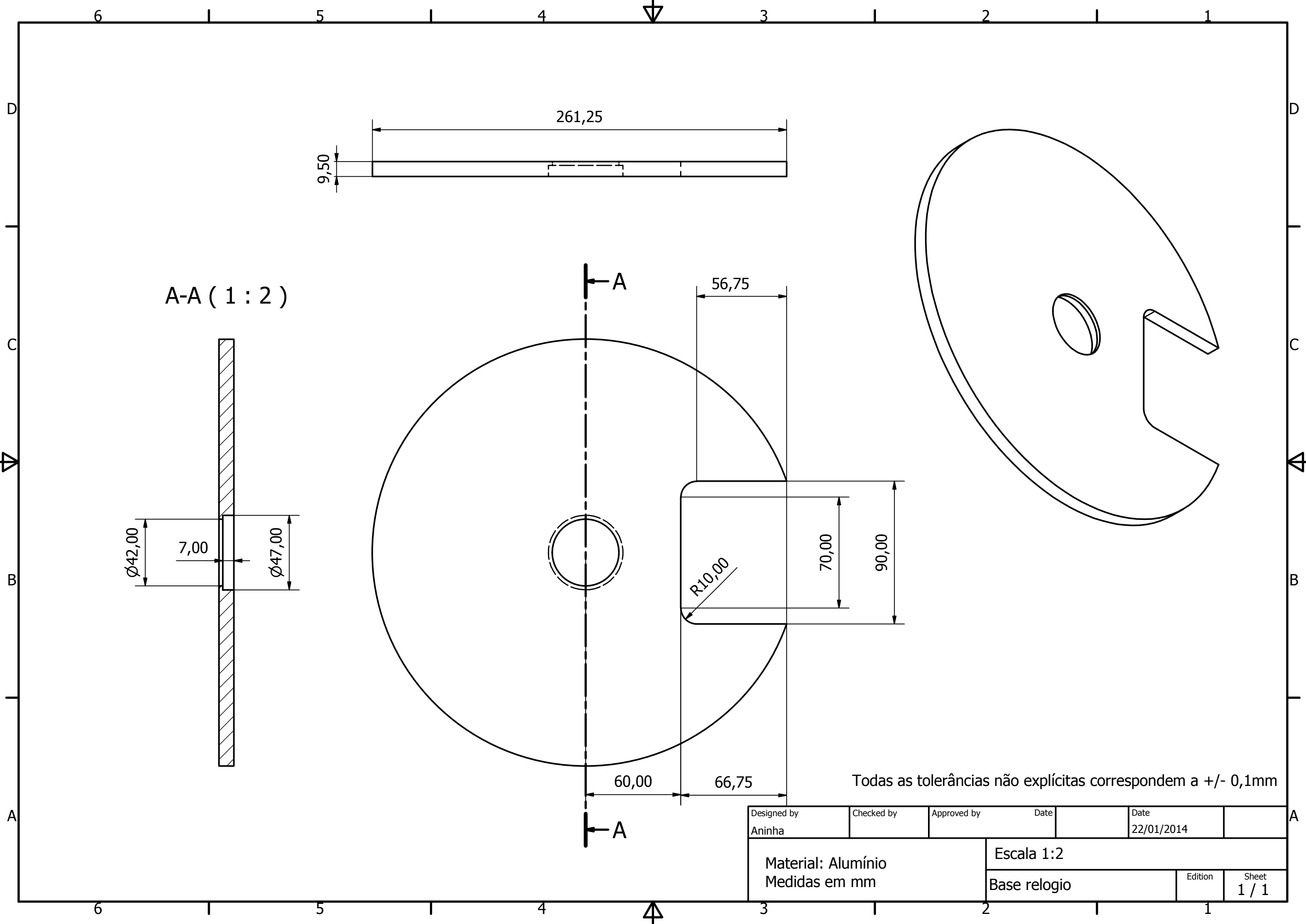


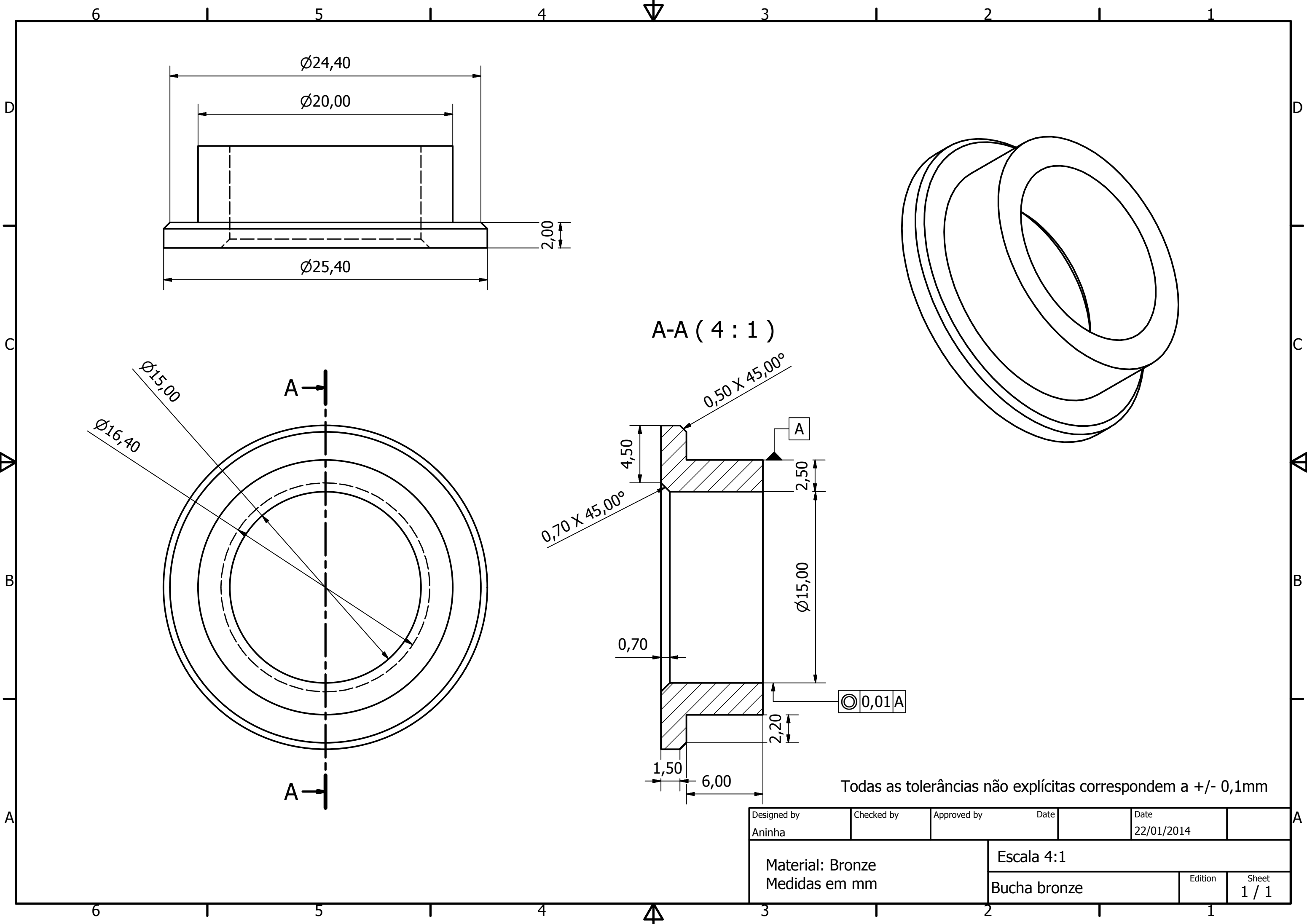
A-A (3 : 1)

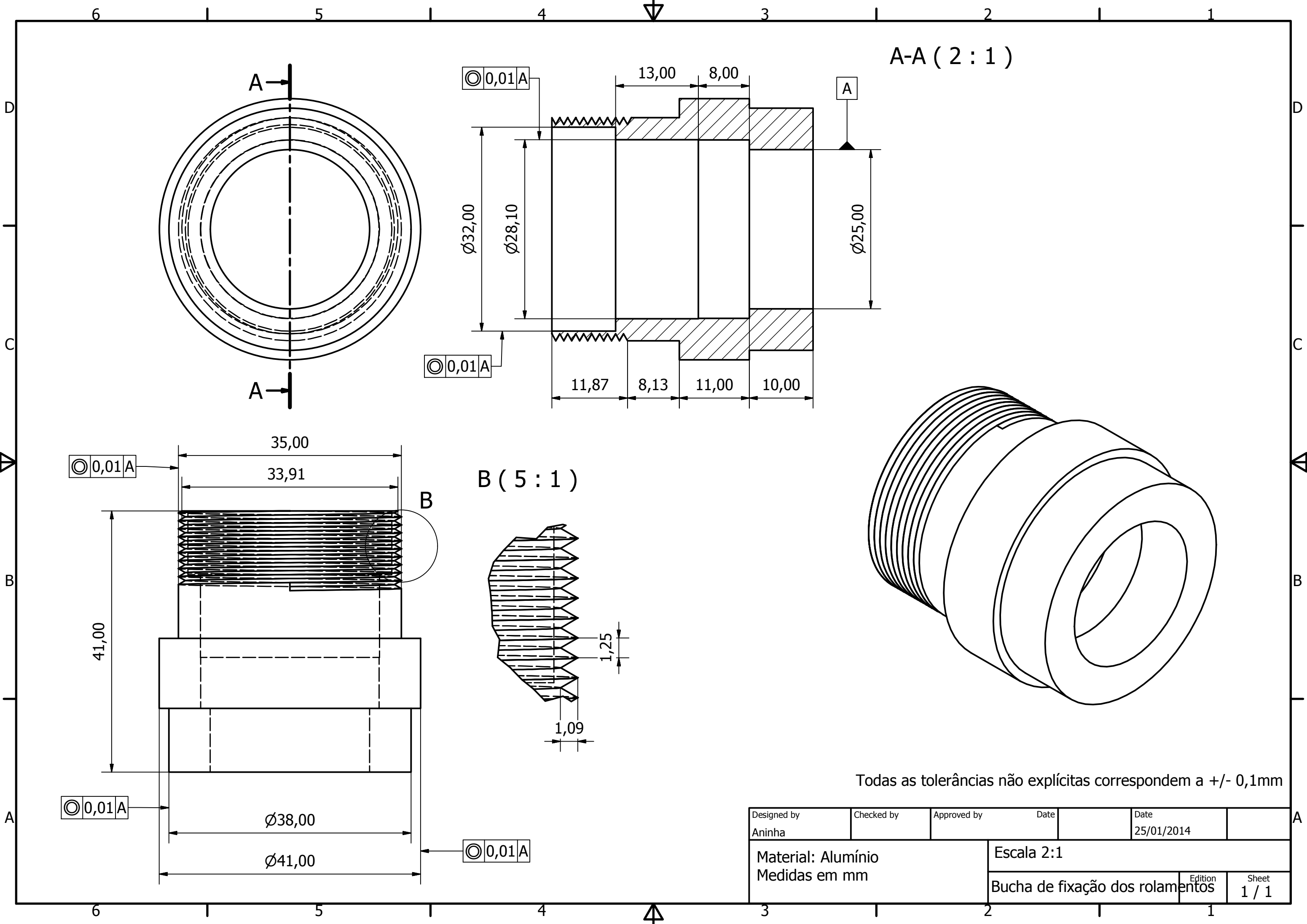


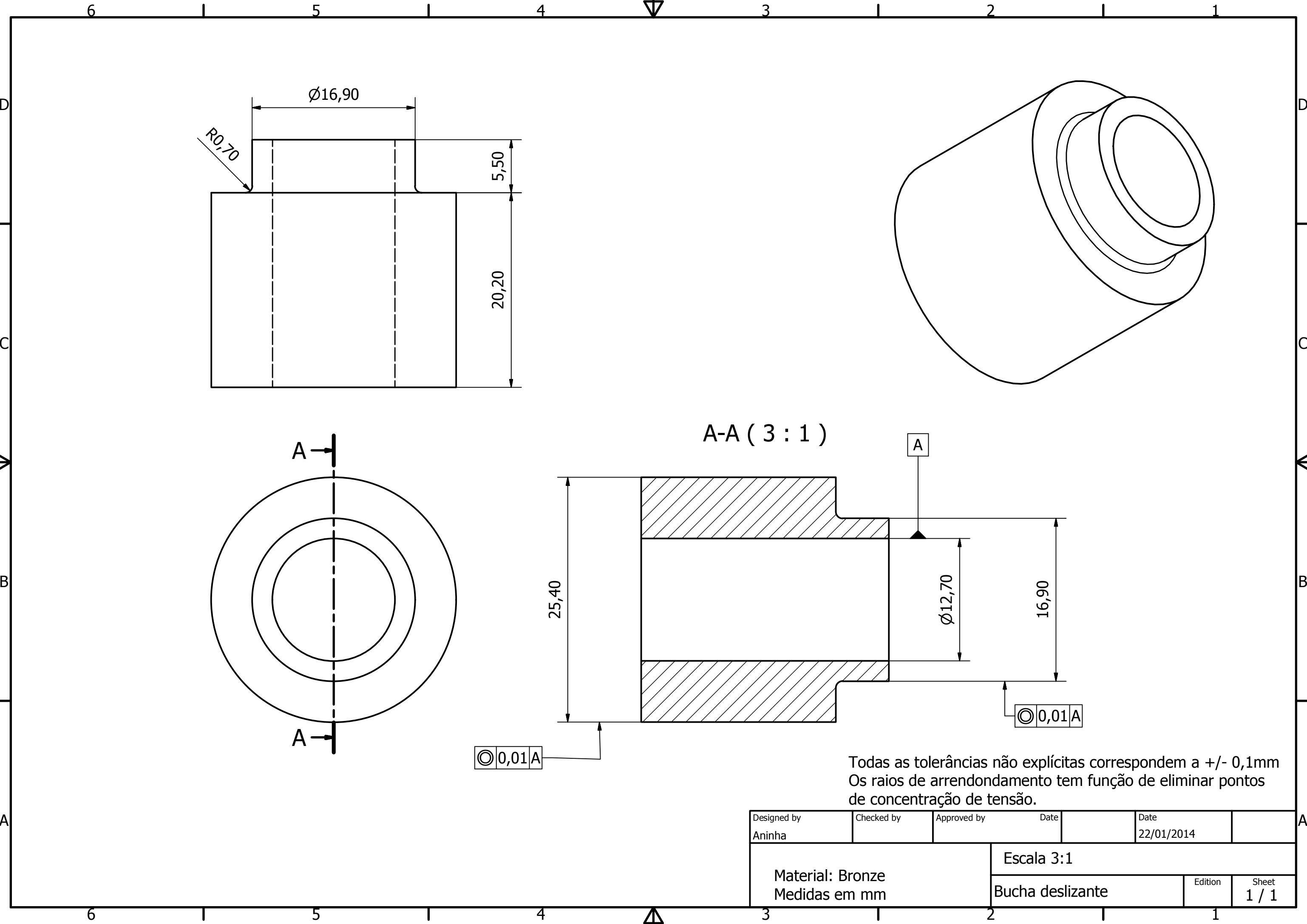
Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

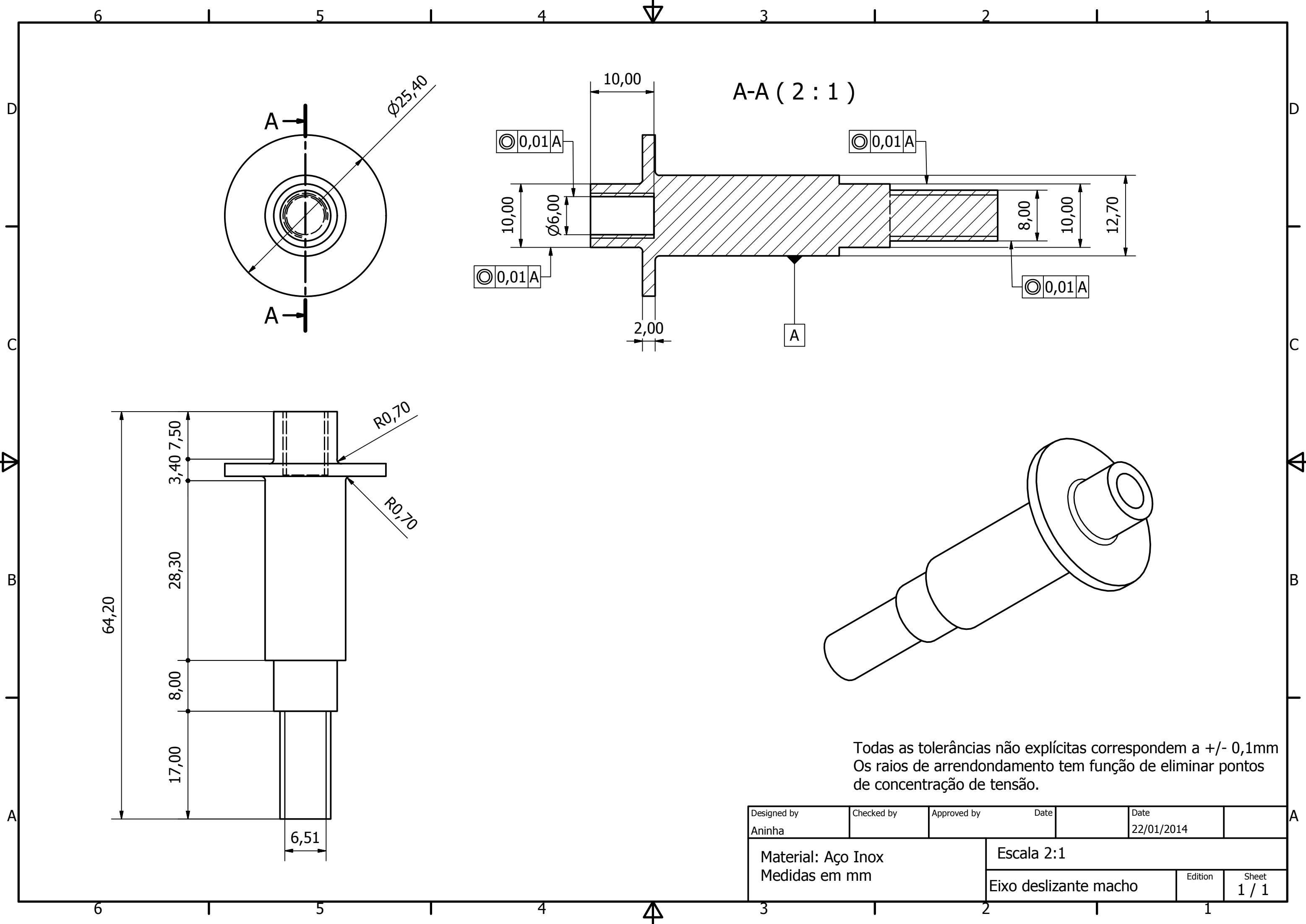
Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014	
Material: Teflon Medidas em mm		Escala 3:1		
		Arruela teflon		Edition Sheet 1 / 1

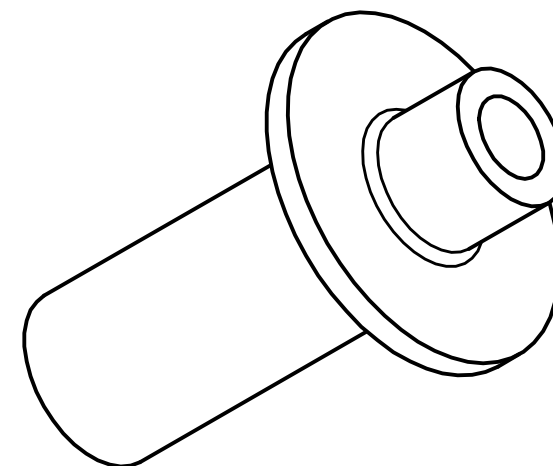
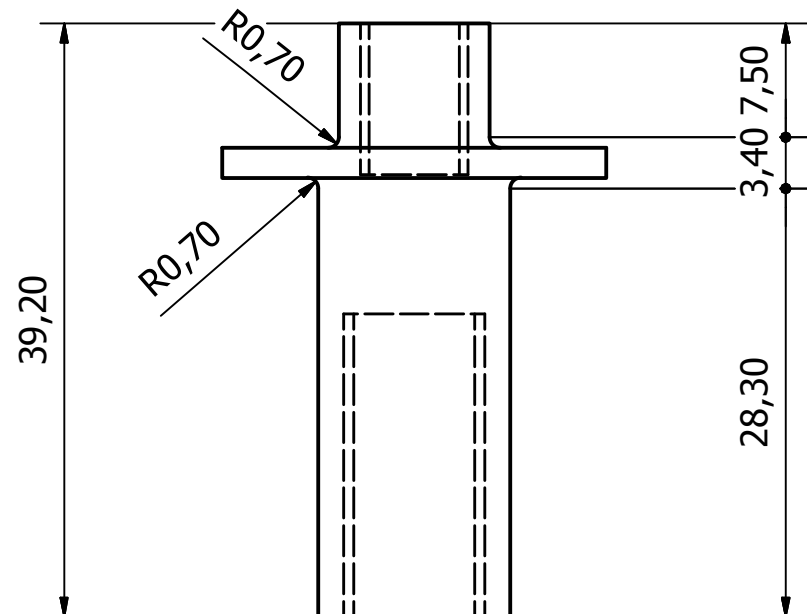




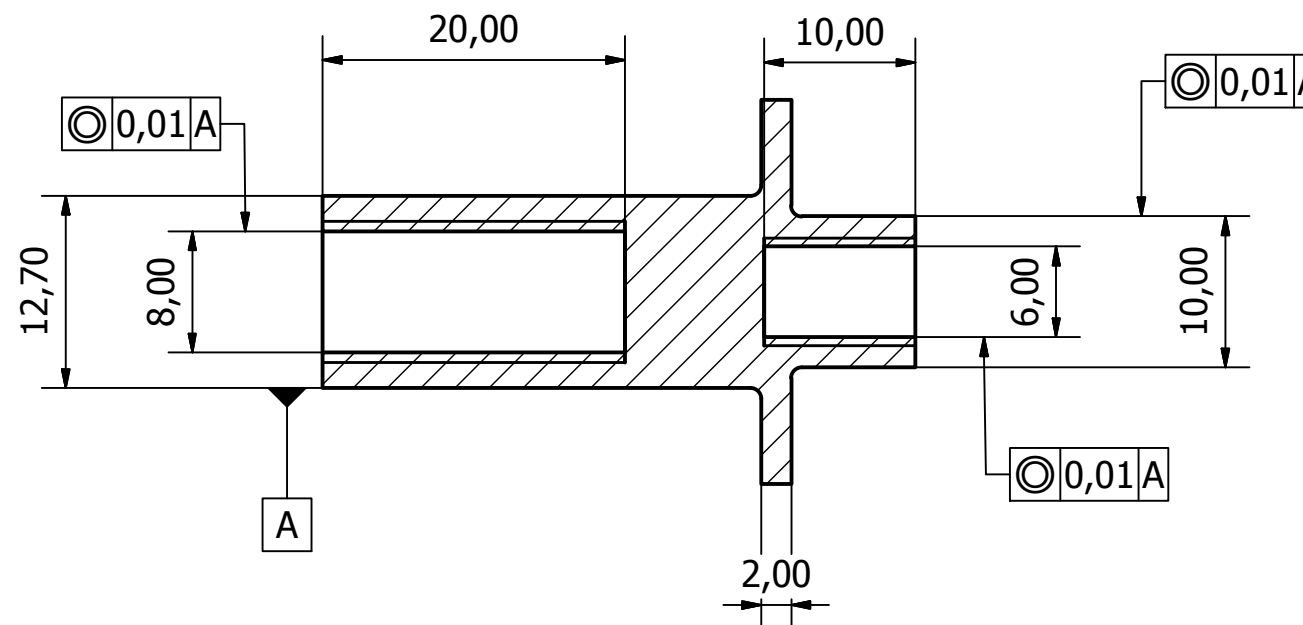
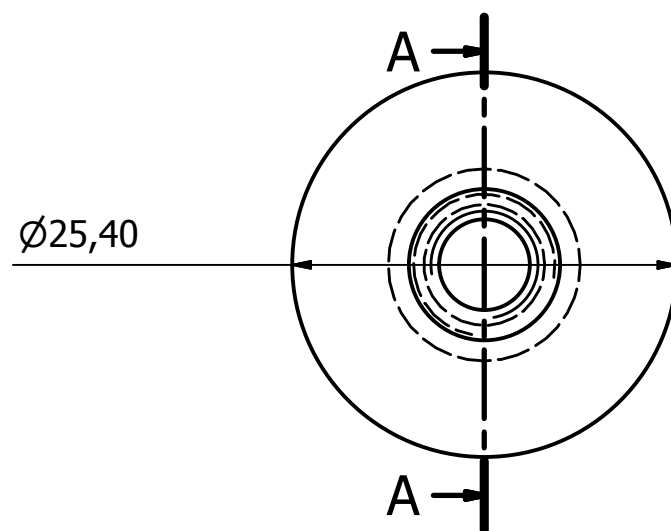






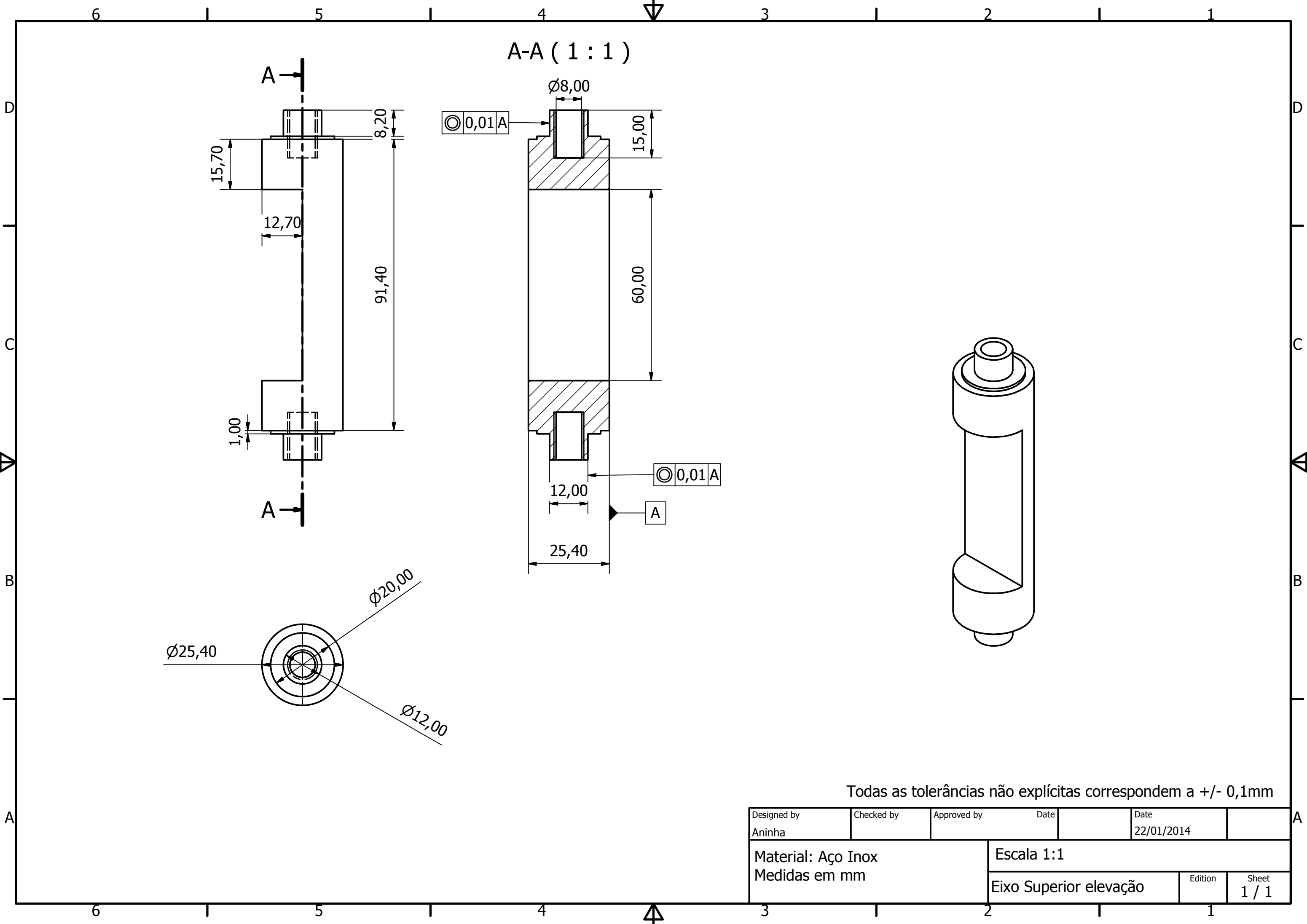


A-A (2 : 1)



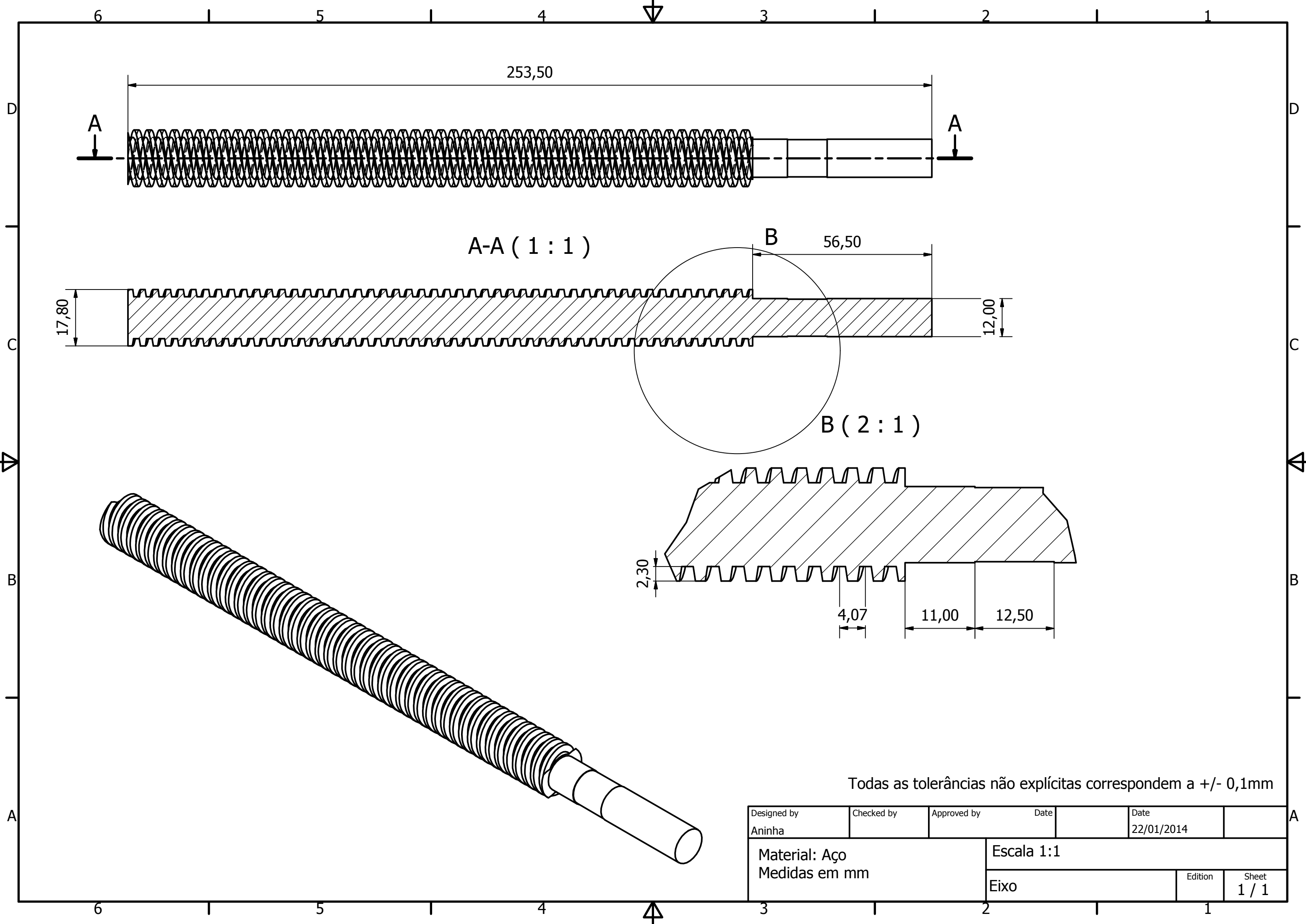
Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm
Os raios de arredondamento tem função de eliminar pontos de concentração de tensão.

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date	Date 22/01/2014	
Material: Aço Inox Medidas em mm			Escala 2:1		
			Eixo deslizante-1		Edition Sheet 1 / 1



Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date	Date 22/01/2014	
Material: Aço Inox Medidas em mm			Escala 1:1		
			Eixo Superior elevação		Edition Sheet 1 / 1

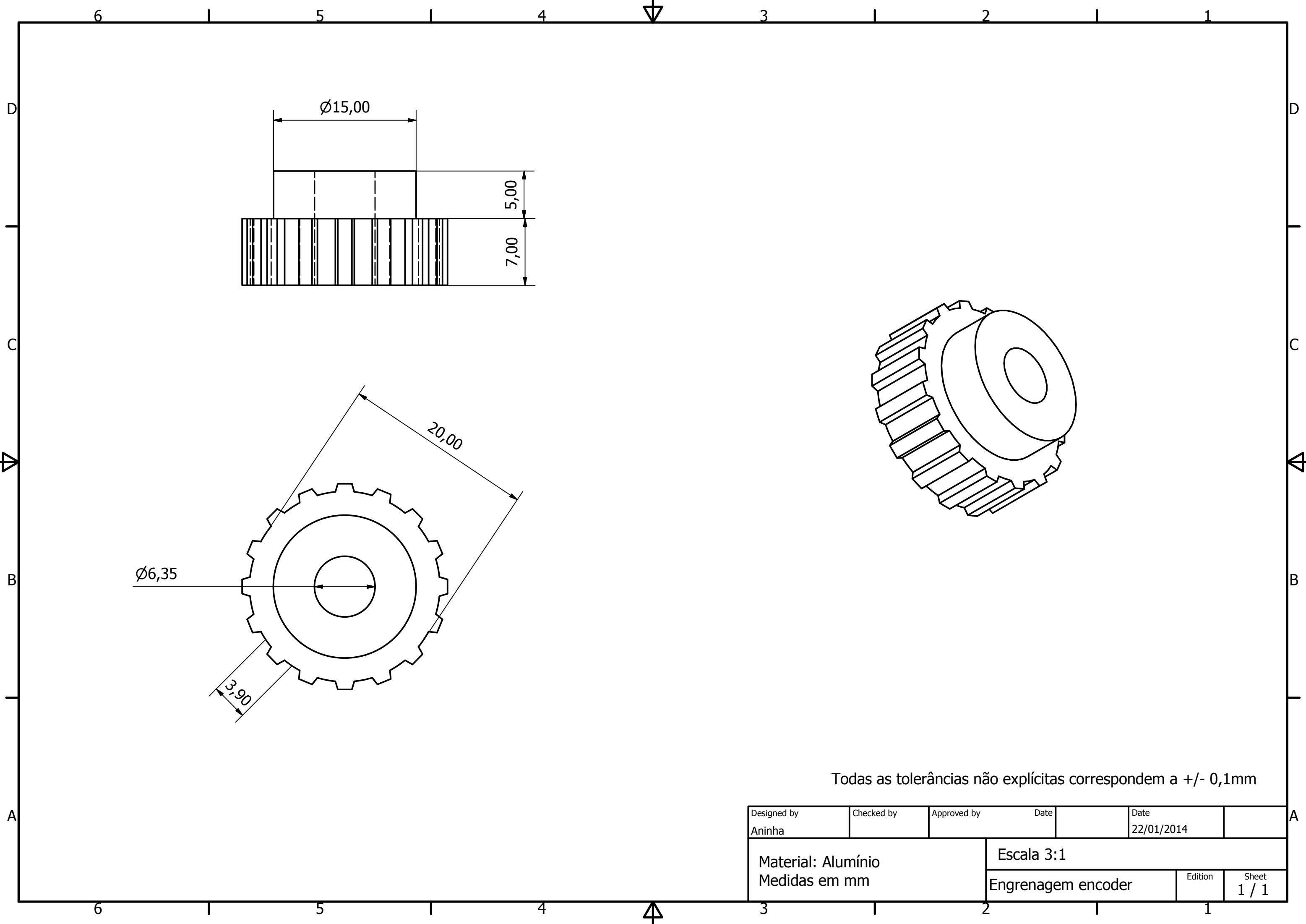


A-A (1 : 1)

B (2 : 1)

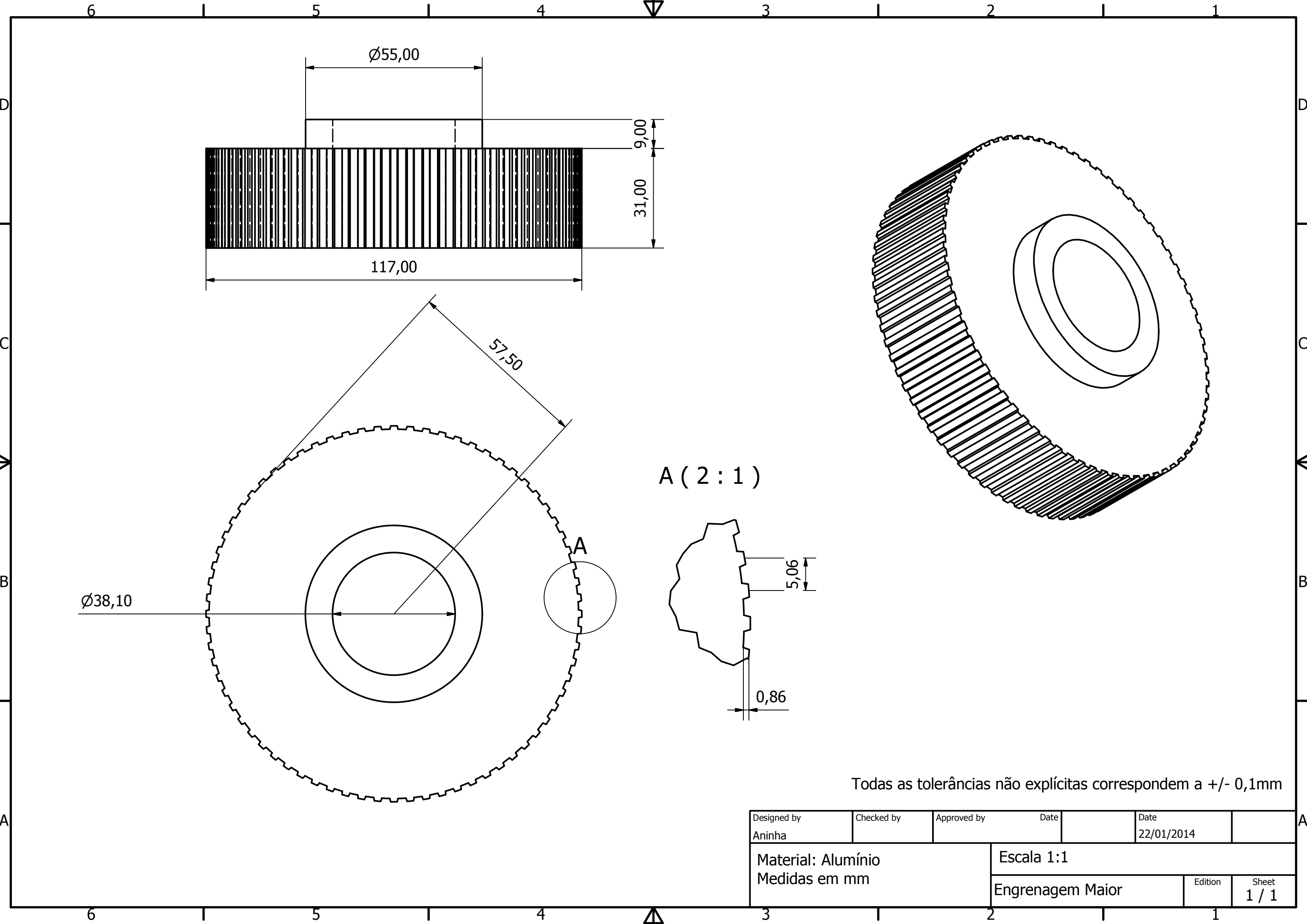
Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014	
Material: Aço Medidas em mm		Escala 1:1		
		Eixo		Sheet 1 / 1



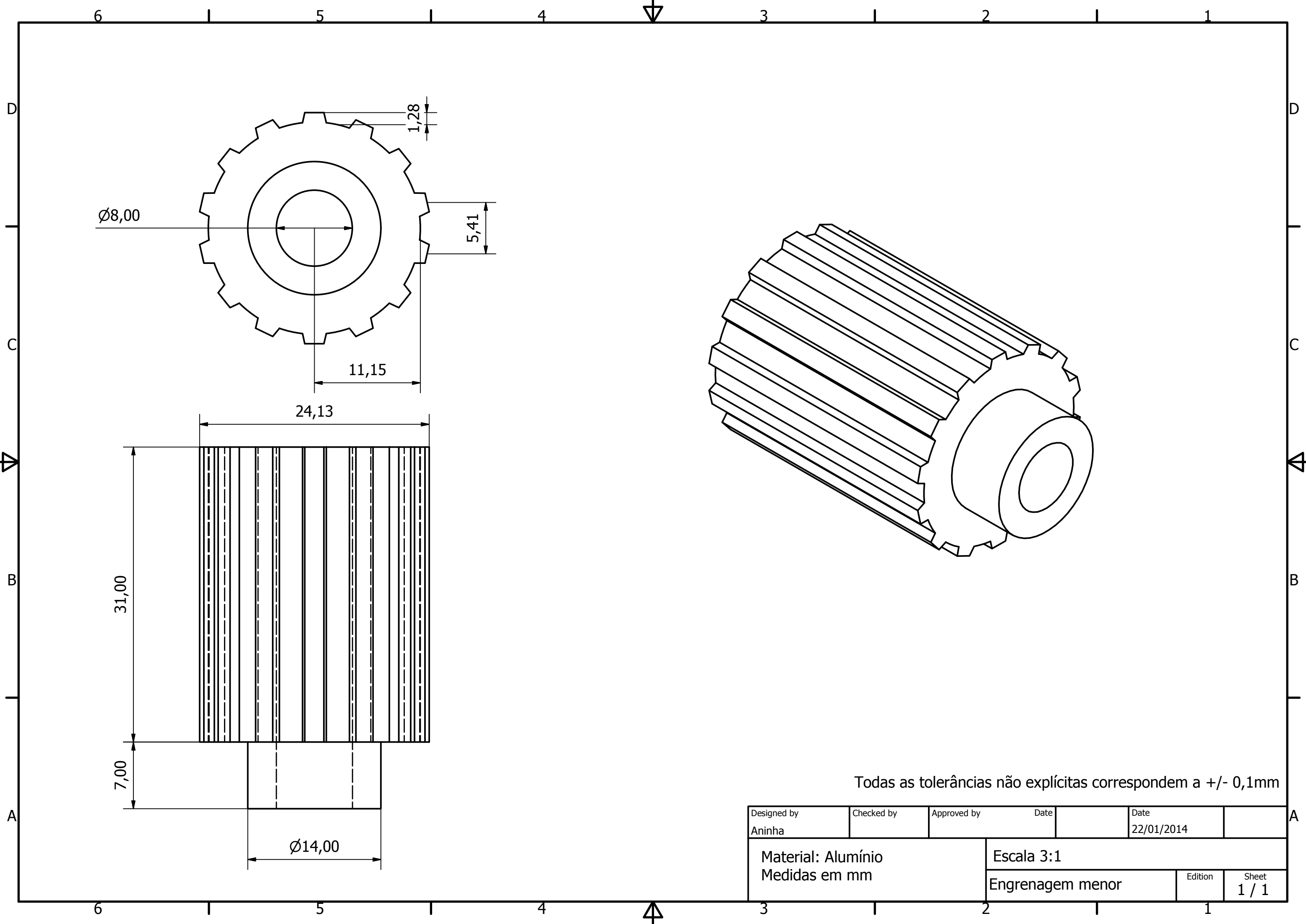
Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014	
Material: Alumínio Medidas em mm		Escala 3:1		
		Engrenagem encoder	Edition	Sheet 1 / 1



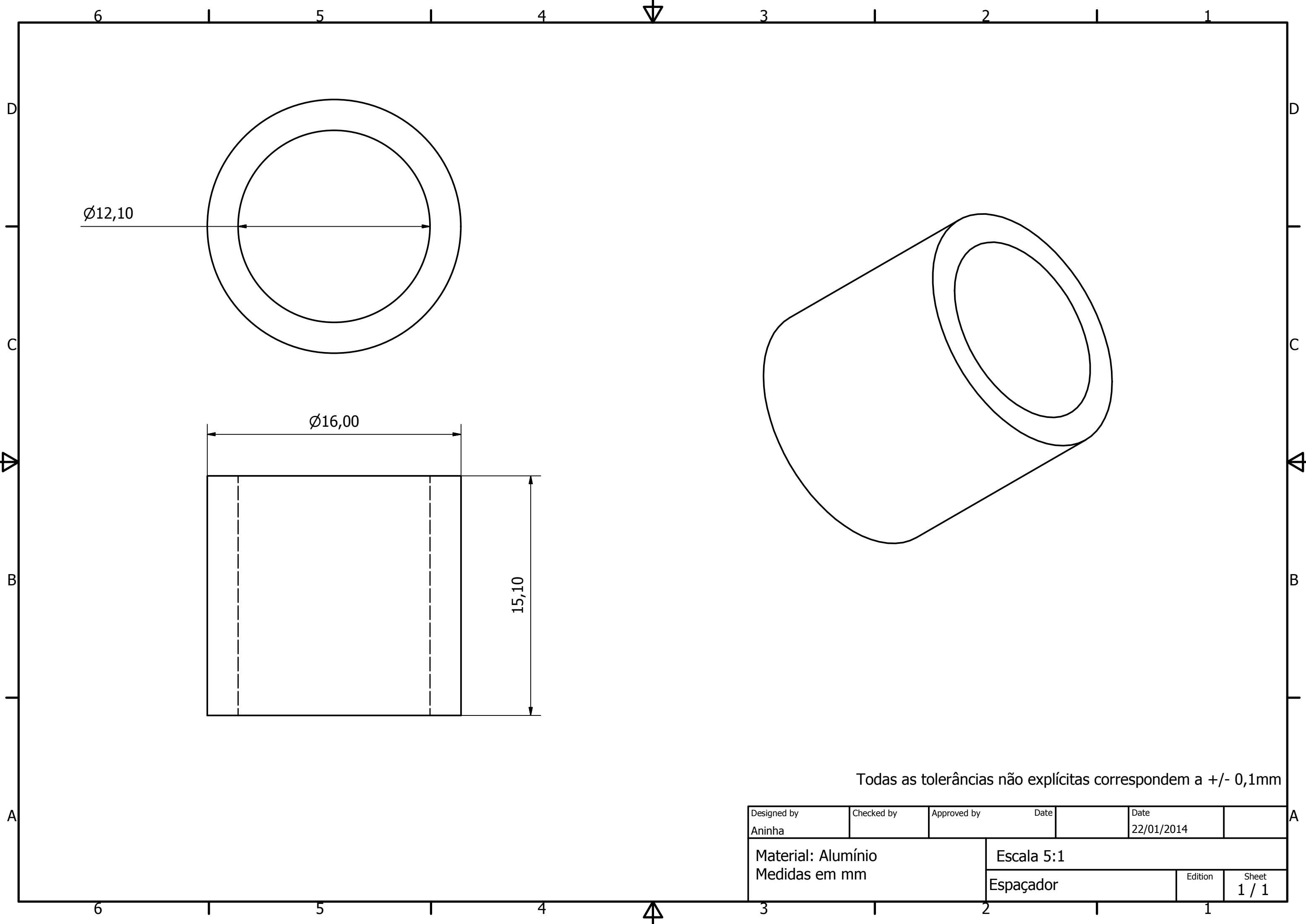
Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

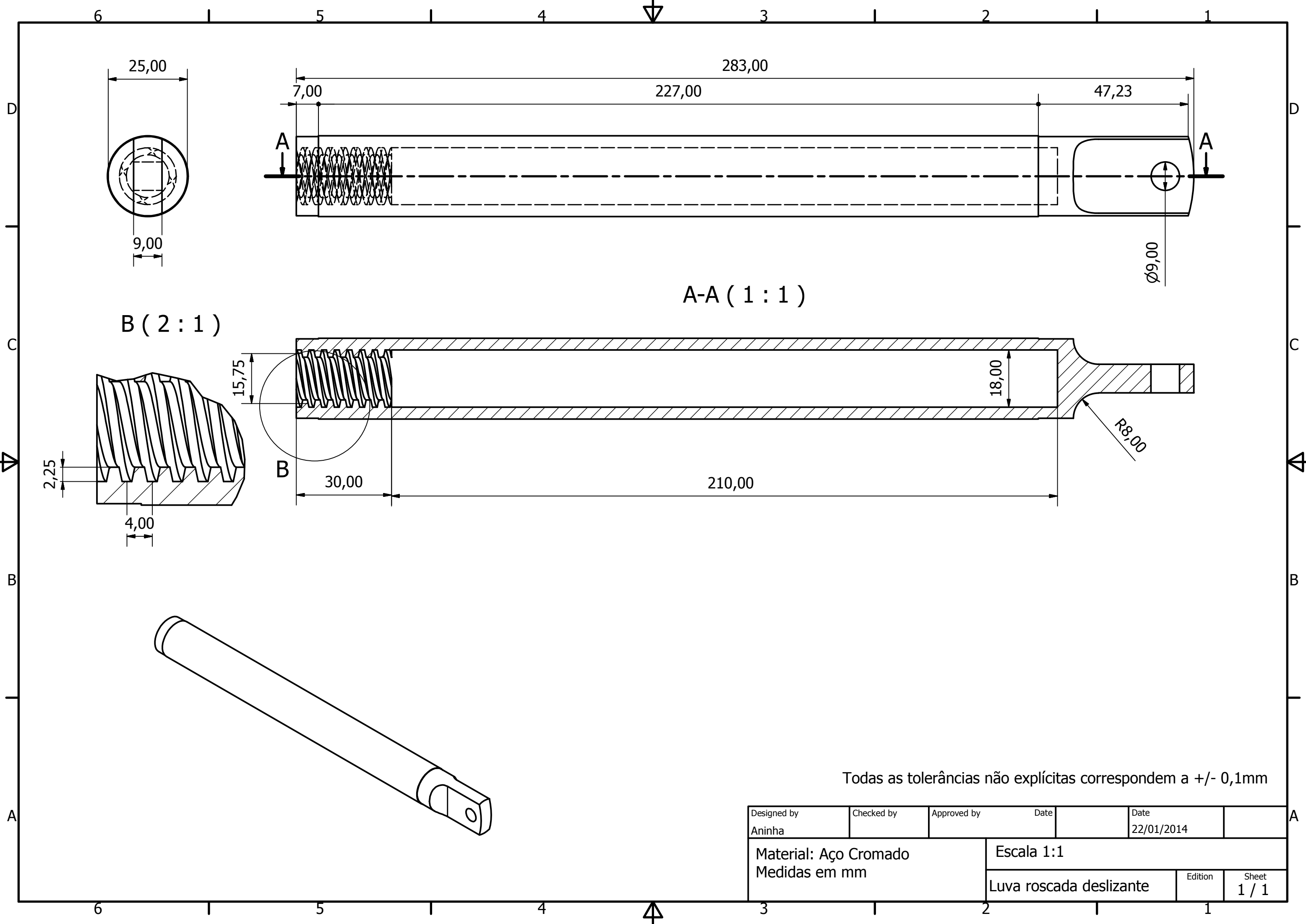
Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014
Material: Alumínio Medidas em mm		Escala 1:1	
		Engrenagem Maior	Edition Sheet 1 / 1



Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014
Material: Alumínio Medidas em mm		Escala 3:1	
		Engrenagem menor	Edition Sheet 1 / 1



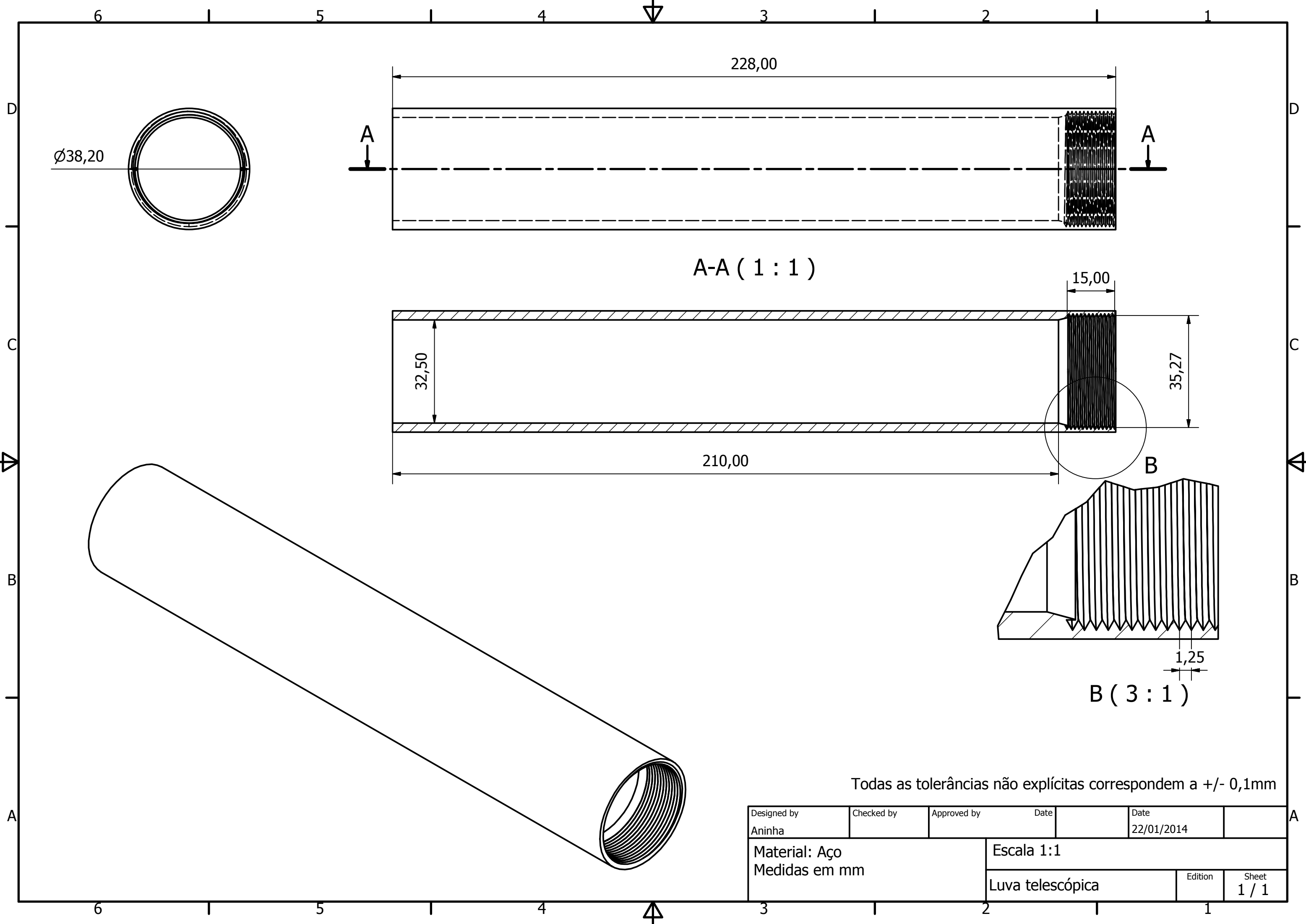


A-A (1 : 1)

B (2 : 1)

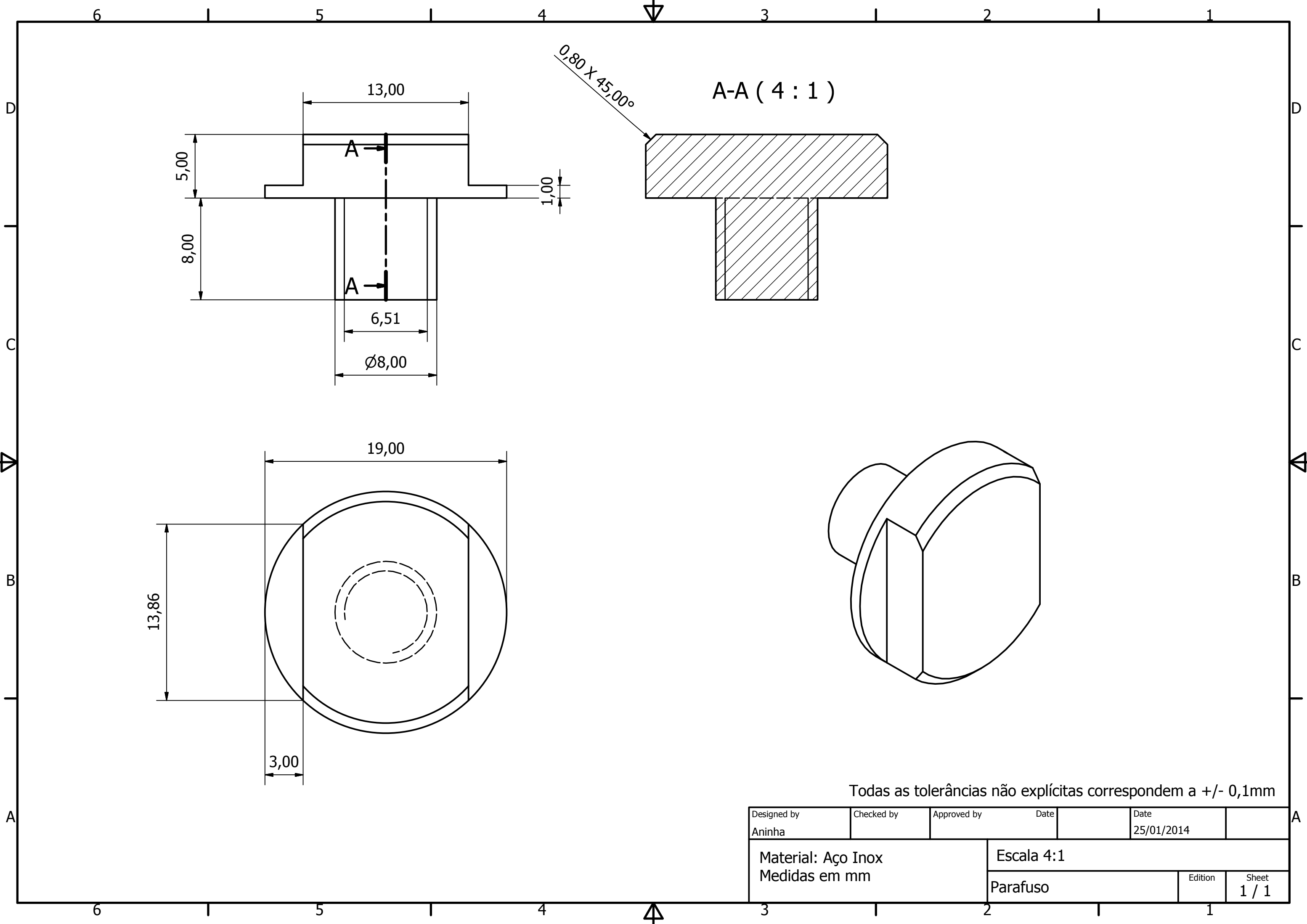
Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date	Date 22/01/2014	
Material: Aço Cromado Medidas em mm			Escala 1:1		
			Luva roscada deslizante		Edition Sheet 1 / 1



Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014
Material: Aço Medidas em mm		Escala 1:1	
		Luva telescópica	Sheet 1 / 1



6

5

4

3

2

1

1

D

D

C

C

B

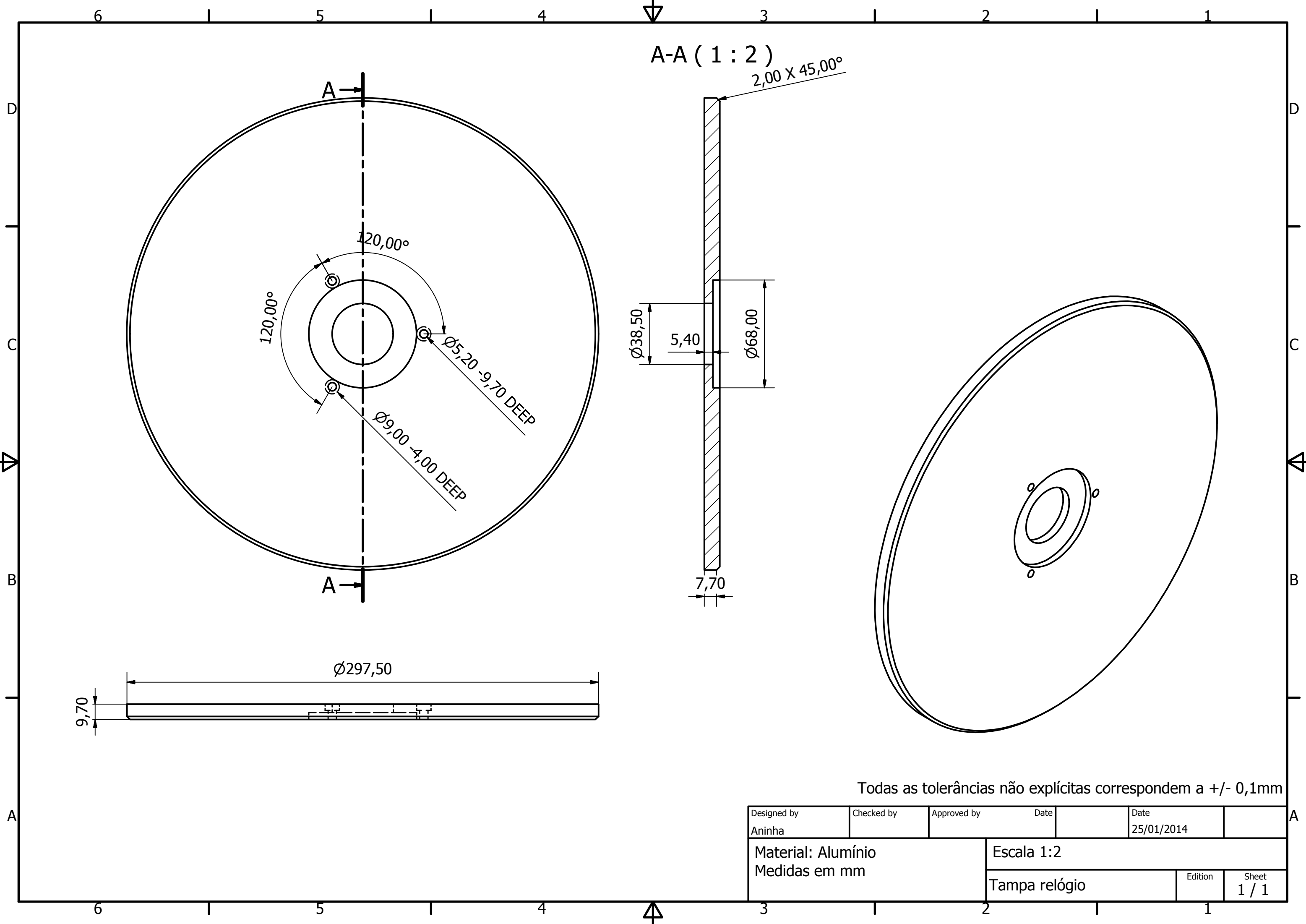
B

A

A

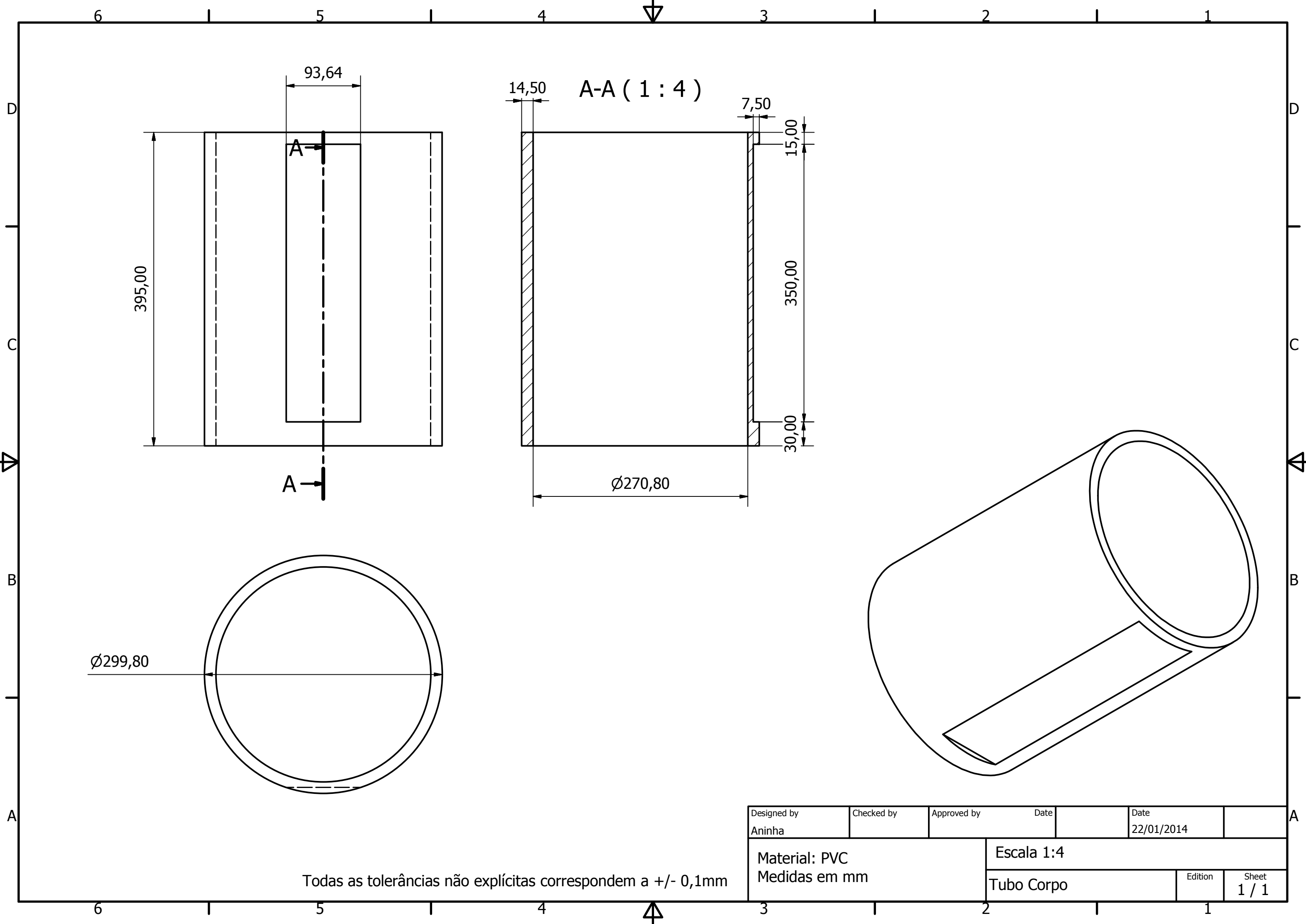
Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date	Date 25/01/2014	
Material: Aço Inox Medidas em mm			Escala 4:1		
			Parafuso		Edition Sheet 1 / 1



Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date	Date 25/01/2014	
Material: Alumínio Medidas em mm			Escala 1:2		
Tampa relógio				Edition	Sheet 1 / 1



Ø299,80

A-A (1 : 4)

Ø270,80

93,64

395,00

15,00

350,00

30,00

7,50

14,50

A

Todas as tolerâncias não explícitas correspondem a +/- 0,1mm

Designed by Aninha	Checked by	Approved by	Date 22/01/2014	
Material: PVC Medidas em mm		Escala 1:4		
		Tubo Corpo		Sheet 1 / 1

C) Diagrama Elétrico

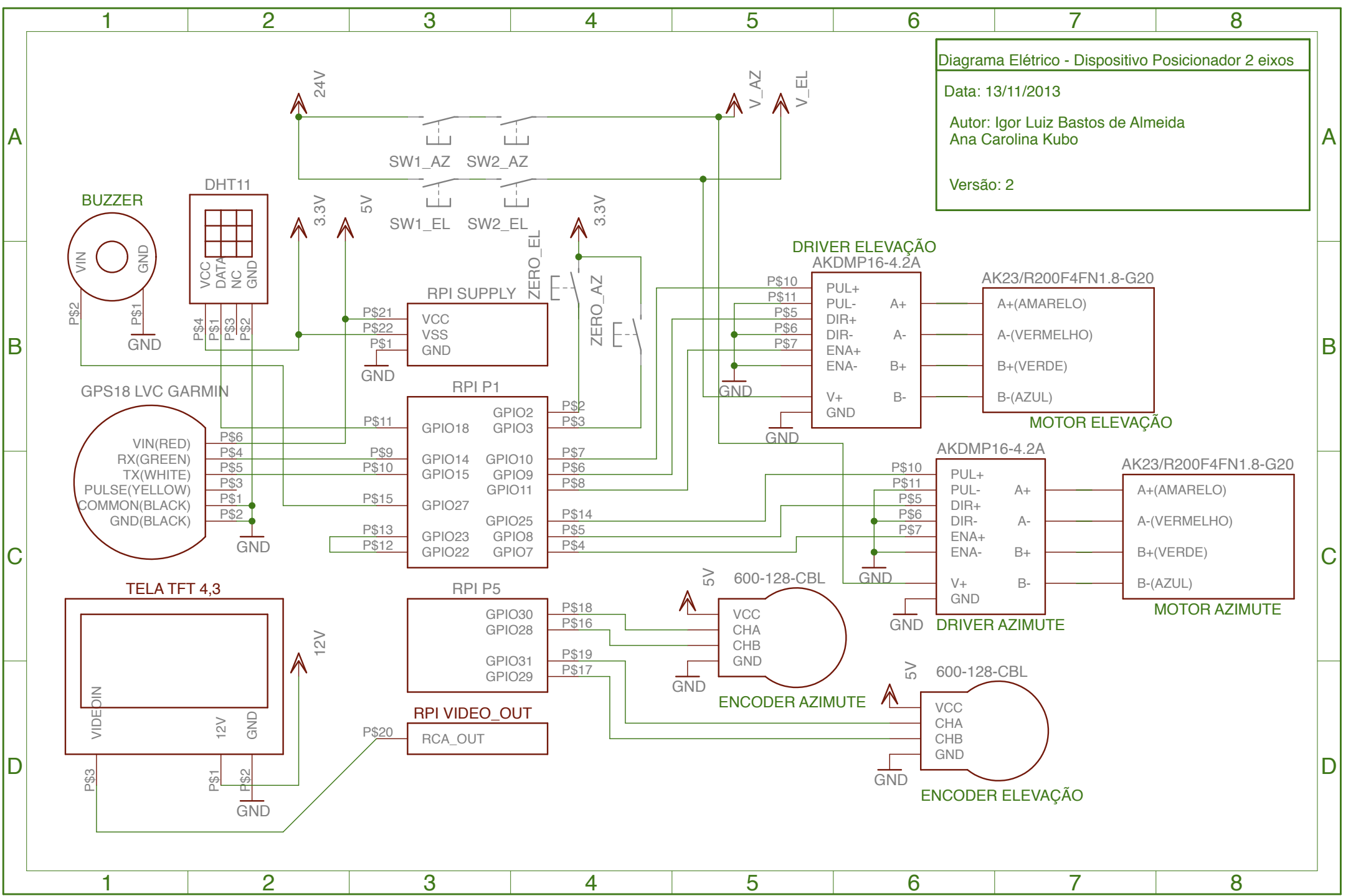


Diagrama Elétrico - Dispositivo Posicionador 2 eixos

Data: 13/11/2013

Autor: Igor Luiz Bastos de Almeida
Ana Carolina Kubo

Versão: 2

D) Exemplo de arquivo de Log

Data/Hora	EL (°)	AZ (°)	T (°C)	Um. (%)
12/02 01:29:47	0,0	0,0	24	36
12/02 01:29:48	0,0	0,0	24	36
12/02 01:29:49	0,0	0,0	24	36
12/02 01:29:50	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:51	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:52	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:53	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:54	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:55	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:56	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:57	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:58	0,0	0,0	24	35
12/02 01:29:59	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:00	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:01	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:02	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:03	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:04	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:05	0,0	0,0	24	36
12/02 01:30:06	0,0	0,0	24	36
12/02 01:30:07	0,0	0,0	24	36
12/02 01:30:08	0,0	0,0	24	36
12/02 01:30:09	0,0	0,0	24	36
12/02 01:30:10	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:11	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:12	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:13	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:14	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:15	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:16	0,0	0,0	24	35
12/02 01:30:17	0,0	0,0	24	35

ANEXOS

A) Datasheets



DRIVER MOTOR DE PASSO AKDMP16 -4.2A

MANUAL DRIVE PARA MOTOR DE PASSO MODELO AKDMP16-4.2A



Atenção:

- Leia cuidadosamente este manual antes de ligar o Driver.
- A Neoyama Automação se reserva no direito de fazer alterações sem aviso prévio.

SUMÁRIO



1.	INTRODUÇÃO	3
2.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	3
3.	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	4
4.	DESCRIÇÕES	5
4.1.	CHAVES DE SELEÇÃO DE MICROPASSO	6
4.2.	CHAVES DE SELEÇÃO DE NÍVEIS DE CORRENTE	7
4.3.	TERMINAIS DE ALIMENTAÇÃO	8
4.4.	TERMINAIS DOS SINAIS DE ENTRADA (CONTROLE)	9
4.4.1.	Terminal do sinal de passo (Passo)	9
4.4.2.	Terminal de sentido de giro do motor (DIR)	9
4.4.3.	Terminal Habilita/Desabilita (ENA+/ENA-)	10
4.5.	CONFIGURAÇÃO NPN	10
4.6.	CONFIGURAÇÃO PNP	11
4.7.	TERMINAIS DE SAÍDA	12
4.8.	ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS MOTORES DE PASSO	13
4.8.1.	Motores de 4 fios	13
4.8.2.	Motores de 6 fios	14
4.8.3.	Motores de 8 fios	14
4.8.3.1.	CONEXÃO SÉRIE	15
4.8.3.2.	CONEXÃO PARALELA	15
5.	RUÍDOS E INTERFERÊNCIAS	16
6.	SOLUÇÃO E PREVENÇÃO DE FALHAS	16
7.	DIMENSÕES	17
8.	GARANTIA	18



1. INTRODUÇÃO

O driver AKDMP16-4.2A possui um circuito desenvolvido para obter melhor desempenho em alta velocidade. É um driver bipolar chopper (driver de corrente) que utiliza o sistema PWM (modulação por largura de pulso) produzindo um maior torque e estabilidade do motor além de possibilitar a utilização do sinal **PNP** ou **NPN** para realizar o controle de pulso e direção ou pulso e pulso. Possui entrada digital opto isolada, garantindo a proteção do circuito eletrônico interno, proporcionando imunidade a ruídos. Pode acionar motor de passo híbrido de 2 ou 4 fases tipo: NEMA 17 à NEMA 23 com correntes até 4.2A pico.

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

- A corrente máxima do driver é de $4.2A_{PICO}$;
- Sinal de controle PNP ou NPN;
- Opera com sinal de passo e direção ou pulso/pulso (CW e CCW);
- Divisão de micropasso ajustável em 16 modos;
- Redução automática de corrente para velocidade zero;
- Seleção de 16 níveis de corrente;
- Entradas digitais com isolamento óptico;
- Sinal senoidal de corrente de fase do motor.
- Filtro antirruído
- Compatível com os motores de passo Akiyama modelos: AK23/7.0F8FN1.8; AK23/7.6F6FN1.8; AK23/10F8FN1.8; AK23/15F6FN1.8.



3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Símbolo	Descrição	Min	Típico	Max	Unidade
Vin	Tensão de entrada	20	36	50	Vdc
Iout	Corrente de saída	1,00		4.2	A
Ilog	Corrente sinal lógico	7	10	16	mA
Fmax	Frequencia máxima	0	-	300	Khz
Tamb	Temperatura ambiente	0	25	50	°C
Tstg	Temperatura de armazenamento	-20	30	65	°C

OBS: Os valores mínimos e máximos referentes à corrente de saída da tabela acima são valores de pico. $1,00 A_{RMS} = 1,42 A_{PICO}$.



4. DESCRIÇÕES

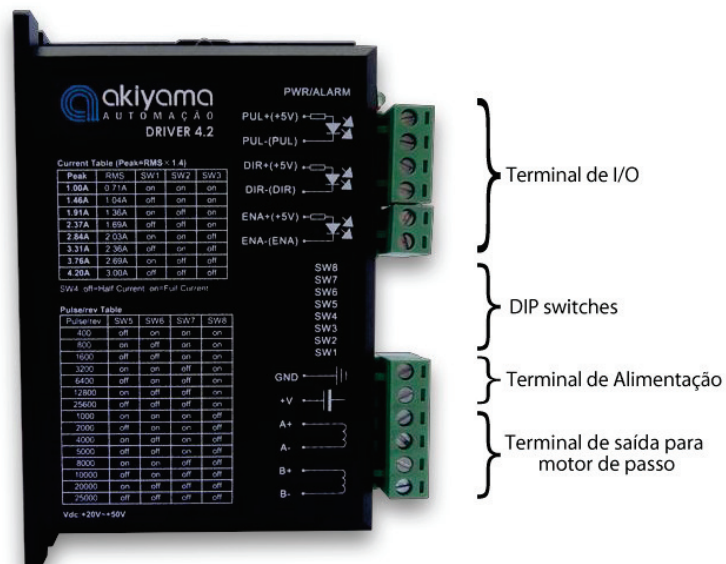


Figura 1: DIAGRAMA DO DRIVER 4.2A



4.1 CHAVES DE SELEÇÃO DE MICROPASSO

A seleção de micropassos é mudada através das chaves SW5, SW6, SW7 e SW8:

Passos/rev	SW5	SW6	SW7	SW8
400	OFF	ON	ON	ON
800	ON	OFF	ON	ON
1600	OFF	OFF	ON	ON
3200	ON	ON	OFF	ON
6400	OFF	ON	OFF	ON
12800	ON	OFF	OFF	ON
25600	OFF	OFF	OFF	ON
1000	ON	ON	ON	OFF
2000	OFF	ON	ON	OFF
4000	ON	OFF	ON	OFF
5000	OFF	OFF	ON	OFF
8000	ON	ON	OFF	OFF
10000	OFF	ON	OFF	OFF
20000	ON	OFF	OFF	OFF
25000	OFF	OFF	OFF	OFF

Relação para Transformação:
$$RPM = \frac{PPS \times 60}{PPR}$$

PPR = 200x(nº de divisão de passo)

RPM – Rotação por Minuto

PPS – Passo por Segundo

PPR – Passo por Revolução



4.2 CHAVES DE SELEÇÃO DE NÍVEIS DE CORRENTE

Selecionar um nível de corrente acima da especificação de corrente do motor irá tornar o motor com mais torque, porém, ao mesmo tempo causará maior aquecimento, e isso não deverá ser feito, pois a seleção de corrente do driver deve ser definida de tal modo que o motor não superaqueça durante a operação. As conexões paralelo e série das bobinas do motor, irão alterar significativamente valores de indutância e resistência, por isso é importante selecionar o nível de corrente adequado conforme o esquema de ligação.

Os dados fornecidos nos datasheets dos motores de passo são importantes para a seleção do nível de corrente, porém a escolha também dependerá do tipo de conexão.

Corrente Pico	SW1	SW2	SW3
1,00	ON	ON	ON
1,46A	OFF	ON	ON
1,91A	ON	OFF	ON
2,37A	OFF	OFF	ON
2,84A	ON	ON	OFF
3,31A	OFF	ON	OFF
3,76A	ON	OFF	OFF
4,20A	OFF	OFF	OFF

SW4 – OFF = redução de corrente para velocidade = 0rpm

ON = Corrente 100% para velocidade = 0rpm

Nota: devido à indutância do motor, a corrente real na bobina pode ser menor do que a corrente configurada, particularmente sob condição de alta velocidade.



4.3 TERMINAIS DE ALIMENTAÇÃO

A tensão de entrada deve ser contínua respeitando o limite de especificado nesse manual 20Vdc~50Vdc.

Terminais de alimentação	
Terminal GND	Terminal negativo de alimentação
Terminal +V	Terminal positivo de alimentação



Advertência: O valor máximo especificado no corpo do driver de 50Vdc não é aconselhável devido a possíveis flutuações de tensão da rede e também de tensão reversa gerada pelas frenagens e acelerações do motor de passo que podem vir a prejudicar o funcionamento do Driver. A conexão errônea nos terminais de alimentação pode vir a danificar o produto.



4.4 TERMINAIS DOS SINAIS DE ENTRADA (CONTROLE)

4.4.1 Terminal do sinal de passo (Passo)

PUL+/PUL-	O sinal do passo é usado para controlar a posição e a velocidade do motor de passo, o terminal Passo recebe um trem de pulsos que irá acionar o motor de passo a uma velocidade proporcional a frequência do trem de pulsos. O motor de passo pode ser precisamente posicionado pelo controle do número de pulsos em Passo.
-----------	---

SINAL	PNP	NPN
PUL+	Pulso	+Com
PUL-	-Com	Pulso

Obs: Caso Vcc seja maior que 5V adicionar resistor série nos terminais PUL e DIR, de acordo com a tabela abaixo.

Vcc	R
5	-----
12	680Ω (½) W
24	2kΩ (½) W

4.4.2 Terminal de sentido de giro do motor (DIR)

DIR+/DIR-	O sinal em <u>nível alto</u> (5V) no terminal Dir, deve acionar o motor de passo no sentido horário, sinal em <u>nível baixo</u> (0V) o motor se move no sentido anti-horário.
-----------	--

Sinal	Sentido
5V	Horário
0V	Anti-horário

Obs: Caso Vcc seja maior que 5V adicionar resistor série nos terminais PUL e DIR, de acordo com a tabela abaixo.

Vcc	R
5	-----
12	680Ω (½) W
24	2kΩ (½) W



4.4.3 Terminal Habilita/Desabilita (ENA+/ENA-)

ENA+/ENA-	O sinal é usado para habilitar / desabilitar o driver. Nível lógico 1 desabilita o funcionamento do motor de passo. Se desconectado o driver está habilitado
-----------	--

4.5 CONFIGURAÇÃO NPN

Sempre utilizar controladores ou geradores de pulso que utilizem sinais de controle tipo NPN, deve-se seguir o diagrama abaixo:

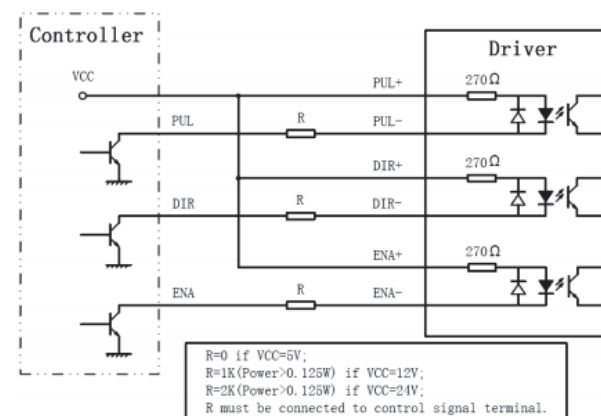


Figura 2: CONFIGURAÇÃO NPN

Os terminais PULL- e Dir- devem ser conectados a uma fonte de tensão de 5Vcc (fonte isolada do circuito de potência) para alimentação dos circuitos de comando.

Caso Vcc seja maior que 5V deve-se fazer o uso de um resistor em série de acordo com a tabela abaixo:

Tensão	Resistor
5Vcc	-----
12Vcc	680Ω (½) W
24Vcc	2,2kΩ (½) W



4.6 CONFIGURAÇÃO PNP

Sempre que utilizar controladores ou geradores de pulso que utilizem sinais de controle tipo PNP, deve-se seguir o diagrama abaixo:

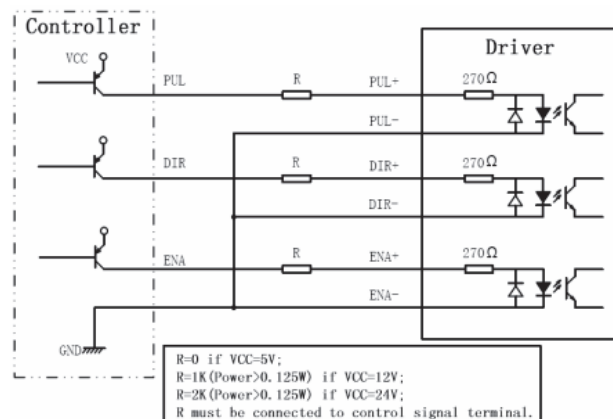


Figura 3: CONFIGURAÇÃO PNP

Os terminais PULL+ e Dir+ devem ser conectados a uma fonte de tensão de 5Vcc (fonte isolada do circuito de potência) para alimentação dos circuitos de comando. Caso Vcc seja maior que 5V deve-se fazer o uso de um resistor em série de acordo com a tabela abaixo:

Tensão	Resistor
5Vcc	-----
12Vcc	680Ω (½) W
24Vcc	2,2kΩ (½) W



4.7 TERMINAIS DE SAÍDA

Nos terminais de saída devem ser ligados os motores de passo híbridos de 2 fases, com bobinas isoladas eletricamente entre si. Os terminais de ligação são:

A+ e A- Terminais de conexão de uma fase do motor de passo

B+ e B- Terminais de conexão de outra fase do motor de passo

Os tipos de motores de passo que permitem acionamento bipolar são:

- ✓ Motor de uma bobina por fase, ou motor de 4 fios;
- ✓ Motor de uma bobina por fase com tap central, ou motor de 6 fios;
- ✓ Motor com duas bobinas por fase, ou motor de 8 fios.

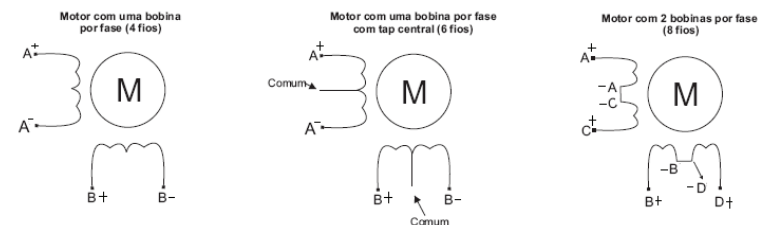


Figura 4: ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO MOTOR



DATASHEET

Advertência: Geração de Tensão EMF (Eletromagnetic Field)

pode danificar o driver se ultrapassar os limites máximos de tensão.

A geração de tensão EMF pode ser causada por dois motivos:

- i. Durante uma desaceleração excessiva com inércia de carga ou do próprio rotor.
- ii. Quando ocorrer movimento manual ou mecânico do eixo do motor.

4.8 ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS MOTORES DE PASSO

4.8.1 Motores de 4 fios

Motores de 4 fios são os menos flexíveis, porém são os mais fáceis de ligar, conforme mostra a figura 5. A Velocidade e torque dependerão do valor de indutância. Para a configuração de corrente de saída do driver, selecione o valor de corrente especificado no datasheet do motor correspondente.

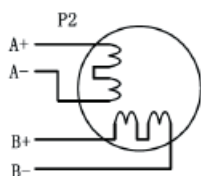


Figura 5: CONEXÃO DE MOTORES DE 4 FIOS



DATASHEET

4.8.2 Motores de 6 fios

Com essa configuração o motor deverá rodar com aproximadamente **70% da corrente** (enrolamento unipolar - verificado no datasheet do motor) para evitar sobre aquecimento.

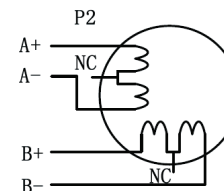


Figura 6: CONEXÃO DE MOTORES DE 6 FIOS. (NC - nenhuma conexão, isolar separadamente)

4.8.3 Motores de 8 fios

Como mostrado na figura 7 o torque a baixa velocidade será o mesmo para a conexão série e paralela. O que diferencia é que com a conexão série os motores devem ser executados com apenas 70% da corrente (enrolamento unipolar, conforme datasheet do motor de passo), tendo assim uma maior eficiência energética. E em alta velocidade a conexão paralela apresenta o dobro de potência.

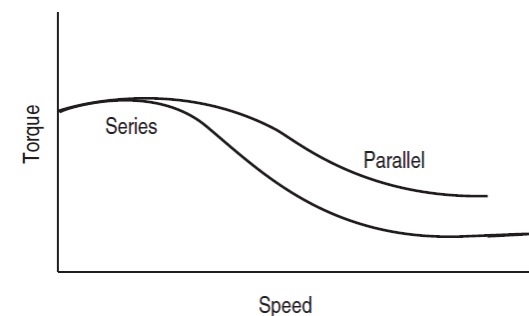


Figura 7: CURVA DE VELOCIDADE/TORQUE EM SÉRIE E PARALELO



Atenção: As ligações das bobinas do motor de passo devem ser conectadas corretamente, conforme datasheet do motor, nas entradas do driver sob pena de ocasionar o acendimento do Led vermelho de proteção e assim causar algum dano ao driver. A seleção correta de corrente do motor de passo é recomendada a fim de evitar algum dano ao mesmo.

4.8.3.1 CONEXÃO SÉRIE

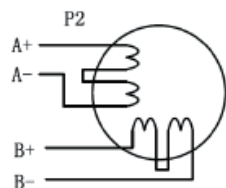


Figura 8: CONEXÃO SÉRIE

4.8.3.2 CONEXÃO PARALELA

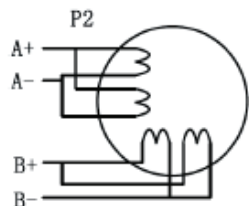


Figura 9: CONEXÃO PARALELA



5 RUÍDOS E INTERFERÊNCIAS

Para evitar ruídos nos condutores dos sinais de entrada, é recomendável separá-los pelo menos por **10 cm** de distância em relação aos condutores do motor de passo e a utilização de cabos de par trançado, pois os sinais gerados pelo motor poderão interferir nos sinais de passo e direção, podendo causar erro de posição, instabilidade do sistema ou falhas.

É desaconselhável desconectar os terminais de saída do motor e da fonte de alimentação enquanto o driver estiver ligado, pois há alta corrente fluindo através das bobinas do motor, mesmo quando estiver parado, isso irá causar picos de tensão que podem danificar o driver.

6 SOLUÇÃO E PREVENÇÃO DE FALHAS

Este capítulo auxilia o usuário a identificar e solucionar possíveis falhas que possam ocorrer.

No caso do driver AKDMP16-4.2A não funcionar corretamente, o primeiro passo é identificar se o problema é de natureza mecânica ou elétrica. O passo seguinte é isolar o sistema componente que está com problema, como parte deste processo, você deve desligar os componentes individuais que compõem o seu sistema e verificar se eles funcionam de forma independente. Muitos dos problemas que afetam o sistema de controle de movimento podem ser atribuídos aos ruídos elétricos, a erros do controlador, erros de software, ou erros na fiação.



SINTOMA	POSSÍVEL CAUSA
Motor não está rodando	Fontes desenergizadas; o driver está desabilitado; não tem sinal de pulso; conexão incorreta dos condutores do motor; frequência de aceleração muito alta.
Motor está se movendo na direção errada	Bobinas do motor invertida; nível de pulso e de direção invertidos.
Movimento errôneo do motor	Interferência nos sinais de controle; conexão errada do motor; velocidade muito alta.
Perda de passo durante aceleração	Seleção de corrente está baixa; motor esta subdimensionado para a aplicação; frequência de aceleração está muito alta; tensão de alimentação é muito baixa.
Aquecimento excessivo do motor	Redução automática de corrente não esta sendo usada; tensão e/ou corrente muito elevada para o motor de passo utilizado.

7 DIMENSÕES

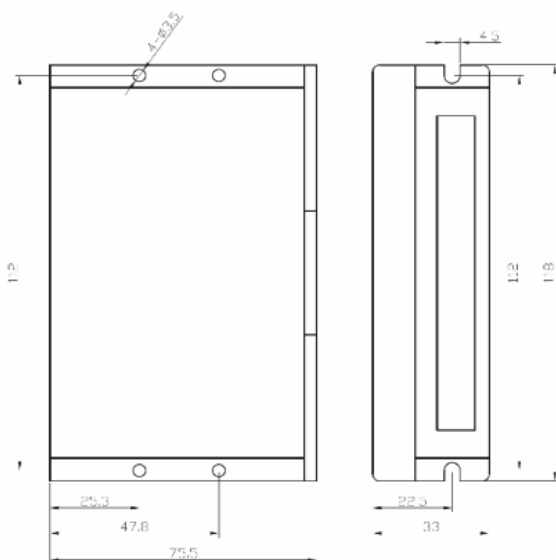


Figura 10: DIMENSÕES



8 GARANTIA

A Neoyama Automação garante por 1 ano o driver contra defeitos de fabricação, durante este período a Neoyama substituirá, ou fará o reparo dos produtos que se revelarem defeituosos. A garantia não se estende a danos causados por uso impróprio ou inadequado, erros de ligação, modificações não autorizadas, exceder os limites das especificações elétricas ou ambientais referidas no item 3 desse manual.

Honeywell



600 Series Optical Encoders

DESCRIPTION

The 600 Series Optical Encoders are manually operated, rotary devices that output two square waves: Channel A leads Channel B by 90° electrically in a counterclockwise direction at a rate of 128 pulses per channel per revolution. The output is TTL (Transistor to Transistor Logic) compatible. PC terminals, cable and cable with connector are available.

FEATURES AND BENEFITS

- Contactless technology, with a minimum of 10 million shaft rotations, provides long life in the application
- Voltage output eliminates need for A/D converters, providing a more cost-effective solution
- Stainless steel shafts and nickel-plated brass bushings
- Wide operating temperature range of -40 °C to 65 °C [-40 °F to 149 °F]
- TTL-compatible outputs provide application flexibility
- Choice of terminations provides mounting flexibility

POTENTIAL APPLICATIONS

Industrial:

- Motion sensing and control
- Motor control
- Flow control
- Robotics
- Computer peripherals
- Welding equipment

Medical:

- Portable diagnostic equipment (EKG, ultrasound)
- Home health care respiratory equipment
- Surgical equipment
- Precision joysticks

600 Series

Table 1. Electrical Specifications

Characteristic	Parameter
Electrical travel	continuous/360°
Input voltage	5 Vdc ±5%
Output voltage:	
high	2.4 V min. with 10 kOhm load to ground
low	0.4 V max.
Output rate	128 pulses/revolution per channel
Supply current	30 mA max.
Channels	two separate output channels in quadrature, 90° ±45°

Table 2. Mechanical Specifications

Characteristic	Parameter
Mechanical travel	continuous/360°
Operating speed	300 RPM max.
Operating torque	0,011 N m [1.5 in oz] max.
Rotational life	10 million shaft rotations, minimum
Shaft:	
material	stainless steel
diameter	6,35 mm [0.25 in]
end play	0,127 mm [0.005 in] max.
radial pla	0,254 mm [0.010 in] at 25,4 mm [1 in]
axial force	6,8 kg [15 lb] push/pull
Bushing	
material	nickel-plated brass
length	9,53 mm [0.375 in]
diameter	9,53 mm [0.375 in] x 32 NEF
Terminal types:	
PC, type B-66	4-pin, gold-plated
PC, type C-24	4-pin, gold-plated
cable	four-lead ribbon, color coded, 28 AWG, IL-W-168780 Type B or equivalent insulation
cable with connector	four-lead ribbon, color coded, 28 AWG, IL-W-168780 Type B or equivalent insulation, Berg connector
Terminal strength	2 lb push or pull
Mounting hardware	hex mount nut, internal tooth lockwasher (See Figure 5.)
Sealing	Controls are not sealed for board washing. Consult Honeywell for details.

Table 3. Environmental Specifications

Characteristic	Parameter
Operating temperature	-40 °C to 65 °C [-40 °F to 149 °F]
Storage temperature	-55 °C to 110 °C [-67 °F to 230 °F]
Humidity	85 %RH at 40 °C [104 °F] 240 hr

Figure 1. Output Waveform

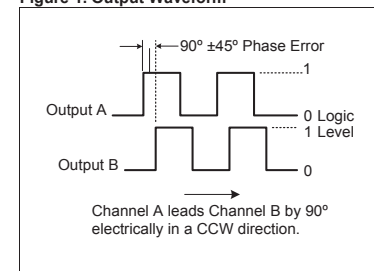
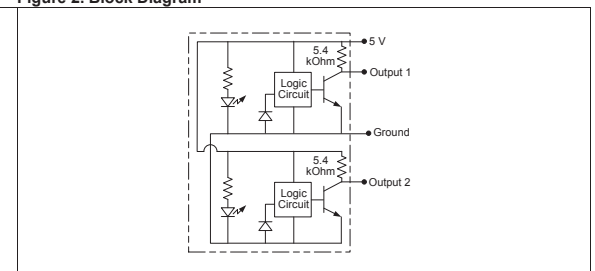


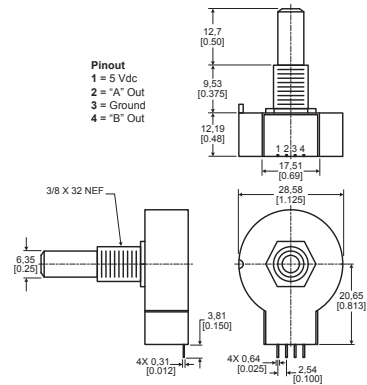
Figure 2. Block Diagram



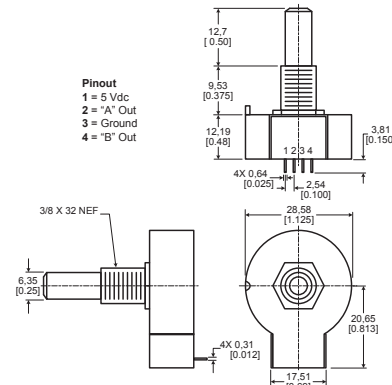
Optical Encoders

Figure 3. Mounting Dimensions (For reference only: mm [in].)

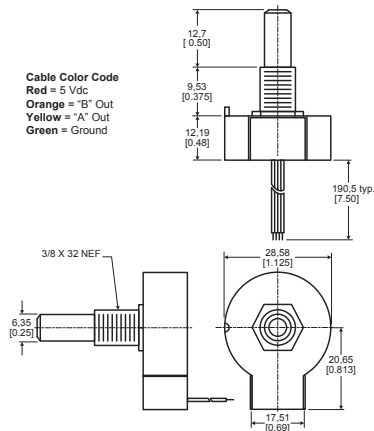
600-128-B66: PC Terminal Type B-66, Horizontal Mounting



600-128-C24: PC Terminal Type C-24, Vertical Mounting



600-128-CBL: 190.5 mm [7.5 in] Cable



600-128-CN1: 190.5 mm [7.5 in] Cable/Connector

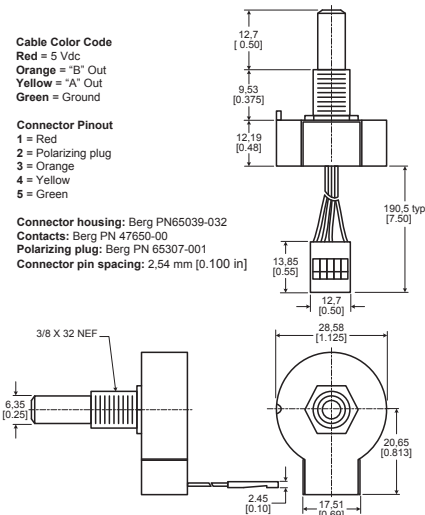


Figure 5. Mounting Hardware

Hex Mount Nut: 3/8 in x 32



Internal Tooth Lockwasher



Order Guide

Catalog Listing	Description
600-128-B66	600 Series optical encoder, PC terminal type B-66, horizontal mounting, mounting hardware included
600-128-C24	600 Series optical encoder, PC terminal type C-24, vertical mounting, mounting hardware included
600-128-CBL	600 Series optical encoder, 190.5 mm [7.5 in] cable, mounting hardware included
600-128-CN1	600 Series optical encoder, 190.5 mm [7.5 in] cable/connector, mounting hardware included

⚠ WARNING

PERSONAL INJURY

DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

WARRANTY/REMEDY

Honeywell warrants goods of its manufacture as being free of defective materials and faulty workmanship. Honeywell's standard product warranty applies unless agreed to otherwise by Honeywell in writing; please refer to your order acknowledgement or consult your local sales office for specific warranty details. If warranted goods are returned to Honeywell during the period of coverage, Honeywell will repair or replace, at its option, without charge those items it finds defective. **The foregoing is buyer's sole remedy and is in lieu of all other warranties, expressed or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. In no event shall Honeywell be liable for consequential, special, or indirect damages.**

While we provide application assistance personally, through our literature and the Honeywell web site, it is up to the customer to determine the suitability of the product in the application.

Specifications may change without notice. The information we supply is believed to be accurate and reliable as of this printing. However, we assume no responsibility for its use.

⚠ WARNING

MISUSE OF DOCUMENTATION

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as a product installation guide.
- Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

SALES AND SERVICE

Honeywell serves its customers through a worldwide network of sales offices, representatives and distributors. For application assistance, current specifications, pricing or name of the nearest Authorized Distributor, contact your local sales office or:

E-mail: info.sc@honeywell.com

Internet: <http://sensing.honeywell.com>

Phone and Fax:

Asia Pacific +65 6355-2828
 +65 6445-3033 Fax
 Europe +44 (0) 1698 481481
 +44 (0) 1698 481676 Fax
 Latin America +1-305-805-8188
 +1-305-883-8257 Fax
 USA/Canada +1-800-537-6945
 +1-815-235-6847
 +1-815-235-6545 Fax

Sensing and Control

Honeywell

1985 Douglas Drive North

Golden Valley, MN 55422

<http://sensing.honeywell.com>

005940-2-EN
 September 2012
 © 2012 Honeywell International Inc. All rights reserved.

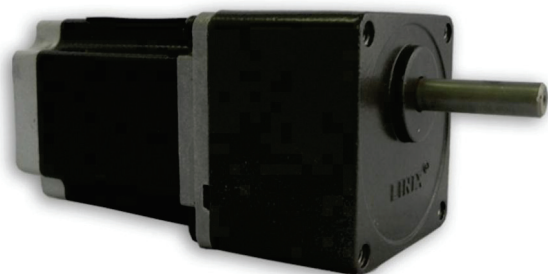


DATASHEET

MOTOR DE PASSO C/ CX. REDUÇÃO

AK57H/3G20-1.8

Código novo: AK23/R200F4FN1.8-G20



1. Especificações técnicas

Tabela 01: especificações

NEMA	Conexão	Holding torque	Holding torque	Corrente (A/fase)	Tensão (V/fase)	Resistência (mΩ/fase)	Indutância (mH/fase)
		COM RED. (kgf.cm)	SEM RED. (kgf.cm)				
23	Bipolar – Série	300.0	15.0	2.1	3.4	140.0	8.0



DATASHEET

Tabela 02: especificações

Item	Especificação
Ângulo do passo	1.8°
N° de passos	200
Enrolamento	Espiras bifilares
Temperatura máx. de operação	80 °C
Temperatura ambiente	-10°C ~ 50°C
Resistência de isolamento	100 Ω / 500 Vdc
Rigidez dielétrica	600 Vac / 1 min
Classe de isolamento	B
Detent torque	600 gf.cm
Inércia do rotor	200 g.cm²
Quantidade de fios	4
Redução	1:20
Peso	1.2 Kg
Sugestão de driver compatível	AKDMP16-7.2A

2. Sequência de fases

Tabela 03: sequência de fases

Passo	A+	B-	A-	B+
0	+	+		
1		+	+	
2			+	+
3	+			+

Iniciando do Passo 0 – Sentido horário

Iniciando do Passo 3 – Sentido anti-horário



DATASHEET

3. Esquema de ligação

Tabela 04: esquema de ligação – bipolar série

Ligação bipolar série	
Fios do motor	Terminal do driver
Amarelo	A+
Vermelho	A-
Verde	B+
Azul	B-

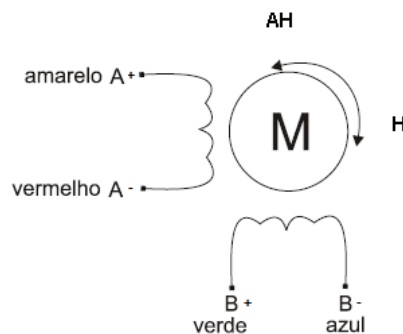


Figura 01: esquema de ligação



DATASHEET

4. Gráfico de desempenho

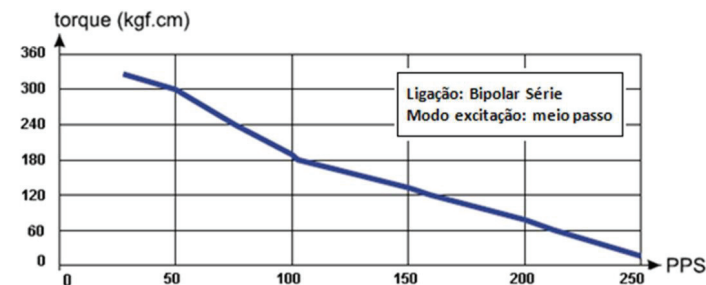


Figura 02: gráfico de desempenho

5. Relação para transformação

$$RPM = \frac{PPS \times 60}{PPR}$$

PPR: 200 x (n° de divisão de passo)

RPM: Rotação por Minuto

PPS: Passo por Segundo

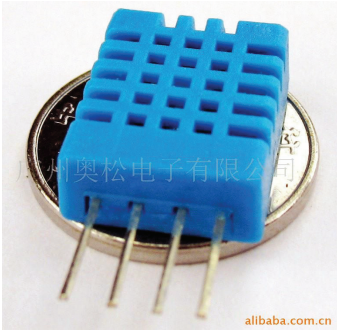
PPR: Passo por Revolução

6. Desenho técnico: 2D e 3D

Faça o download dos arquivos acessando a nossa página na web.

<http://www.neoyama.com.br/movimentacao/ak57h4-3g20-1.8.html>

**Digital-output relative humidity & temperature
sensor/module – DHT11**



Resistive-type humidity and temperature module/sensor

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated
- * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal
- * Outstanding long-term stability
- * Extra components not needed
- * Long transmission distance
- * Low power consumption
- * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT11 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

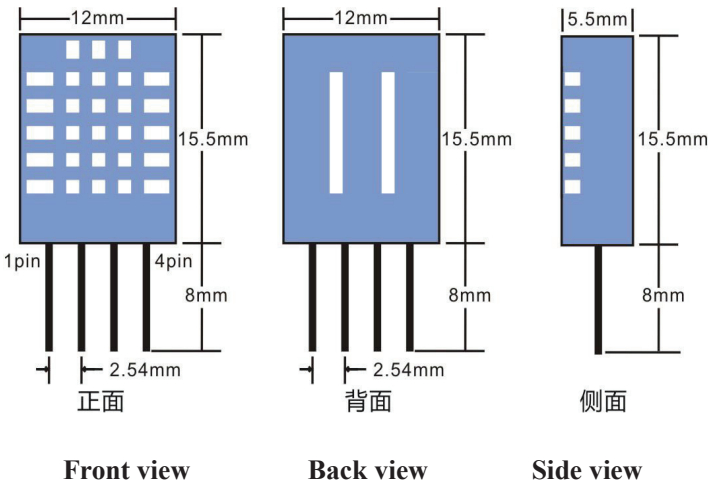
Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in OTP memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT11 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

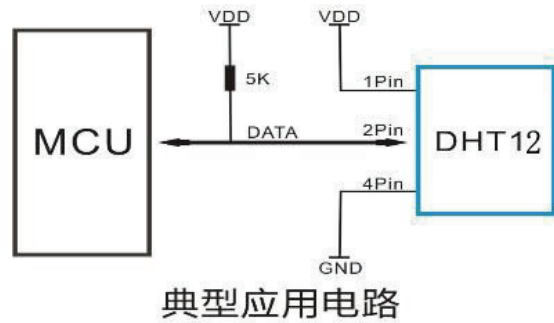
3. Technical Specification:

Model	DHT11	
Power supply	3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer resistor	
Measuring range	humidity 20-90%RH; temperature 0-50 Celsius	
Accuracy	humidity +-4%RH (Max +-5%RH); temperature +-2.0Celsius	
Resolution or sensitivity	humidity 1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH;	temperature +-1Celsius
Humidity hysteresis	+-1%RH	
Long-term Stability	+-0.5%RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	size 12*15.5*5.5mm	

4. Dimensions: (unit----mm)



5. Typical application



3Pin=NULL, MCU=Microcomputer or single-chip computer

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT11.

7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3	5	5.5	V
Current supply	Measuring	0.5		2.5	mA
	Stand-by	100	Null	150	uA
	Average	0.2	Null	1	mA