

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

MICHEL GUIMARÃES DOS SANTOS

APONTADOR DE ANTENA PARABÓLICA AUTOMATIZADO

Joinville

2018

MICHEL GUIMARÃES DOS SANTOS

APONTADOR DE ANTENA PARABÓLICA AUTOMATIZADO

Monografia apresentada ao
CST Mecatrônica Industrial do
campus Joinville do Instituto
Federal de Santa Catarina para
a obtenção do diploma de
Tecnólogo em Mecatrônica
Industrial.

Orientador: Dr. Michael Klug

Joinville

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Guimarães dos Santos, Michel
Apontador de Antena Parabólica Automatizado : AAPA
/ Michel Guimarães dos Santos ; orientação de Michael Klug.
- Joinville, SC, 2018.
58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Joinville. Superior
de Tecnologia em Mecatrônica. .
Inclui Referências.

1. Antena . 2. Parabólica. 3. Automatizado. 4. Apontador.
I. Klug, Michael . II. Instituto Federal de Santa
Catarina. . III. Título.

MICHEL GUIMARÃES DOS SANTOS

APONTADOR DE ANTENA PARABÓLICA AUTOMATIZADO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

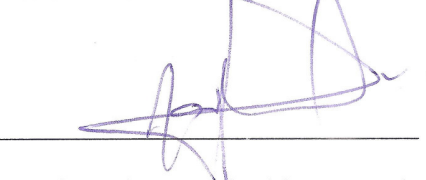
Joinville, 24 de Agosto de 2018.



Prof. Michael Klug, Dr. Eng.

Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Carlos Toshiyuki Matsumi

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Jorge Roberto Guedes

Instituto Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a todos que acreditaram na minha capacidade de realizá-lo.
Dedico também aos que não acreditaram, pois motivaram-me ainda mais à concluí-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao colega Me. Adriano Albino Machado pela orientação na elaboração e construção do protótipo mecânico aqui apresentado, aprimorando meus conhecimentos na área de usinagem, prototipagem e operação do centro de usinagem. Agradeço também ao IFSC campus Jaraguá do Sul - RAU por ceder os recursos tecnológicos necessários para desenvolvimento, construção e testes deste projeto. Sou grato saudosamente à ETFPel, atual IFSul por fornecer-me a base de conhecimentos na área de eletrônica que culminou no sucesso deste trabalho.

"A imaginação é mais importante do que o conhecimento.

O conhecimento é limitado.

A imaginação circunda o mundo."

(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho com fins didáticos tem como objetivo projetar, construir e comprovar o funcionamento de um equipamento de fácil operação, para realizar de forma automatizada o apontamento de antenas parabólicas sem a necessidade de elevados conhecimentos técnicos na área, possibilitando seu uso tanto na recepção de sinais de televisão, como no crescente mercado de transmissão/recepção de dados via satélite. O mecanismo desenvolvido possui dois graus de liberdade. Para o controle de posicionamento do azimute foi utilizado um dispositivo constituído por uma bussola de 3 eixos baseada em sensores magnéticos de efeito Hall de alta sensibilidade. A medição dos níveis de sinais oriundos do satélite é obtida através de um amplificador demodulador logarítmico capaz de converter os sinais de rádio frequência na sua entrada, em tensões de saída em escalas de decibéis. Para realizar o controle do dispositivo foi adotado o microcontrolador ATmega328P. Dois motores de passo atuando através de drivers TB6560 realizam o ajuste mecânico da antena. Como interface homem/máquina foi adotado um display LCD 16x2 com teclado operador integrado, que possibilitam ao usuário realizar a configuração e o monitoramento da atividade do dispositivo. O resultado obtido foi um equipamento funcional que permite a operação e utilização, tanto de usuários avançados quanto leigos que necessitem de sua aplicação em atividades relacionadas ao seu propósito.

Palavras-Chave: antenas parabólicas, via satélite, radio frequência, mecatrônica.

ABSTRACT

This work with didactic purposes aims to design, build and prove the operation of an equipment of easy operation, to realize in an automated way the pointing of parabolic antennas without the need of high technical knowledge in the area, making possible its use in the reception of signals as in the growing satellite data transmission / reception market. The mechanism developed has two degrees of freedom. For the positioning control of the azimuth was used a device consisting of a 3-axis compass based on magnetic sensors of Hall effect of high sensitivity. Measurement of signal levels from the satellite is achieved by a logarithmic demodulator amplifier capable of converting radio frequency signals into its input at output voltages on decibel scales. To control the device, the ATmega328P microcontroller was adopted. Two step motors acting through TB6560 drivers perform the mechanical adjustment of the antenna. As a man / machine interface, a 16x2 LCD display with integrated operator keyboard was adopted, which allows the user to configure and monitor the device's activity. The result obtained was a functional equipment that allows the operation and use of both advanced and lay users who need their application in activities related to their purpose.

Keywords: parabolic antennas, satellite, radio frequency, mechatronics.

LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1 - Centro de Usinagem ROMI D 600 (acervo pessoal)</i>	20
<i>FIGURA 2 - Fuso esfera x Barra roscada</i>	21
<i>FIGURA 3 - Arduino Nano (acervo pessoal)</i>	22
<i>FIGURA 4 - Teclado LCD 16x2 com teclado operador (acervo pessoal)</i>	23
<i>FIGURA 5 - Pinagem do display LCD 16x2</i>	23
<i>FIGURA 6 - Bussola 3 eixos AK8975 (acervo pessoal)</i>	25
<i>FIGURA 7 - Driver TB6560 (acervo pessoal)</i>	25
<i>FIGURA 8 - Motor de passo NEMA 23</i>	27
<i>FIGURA 9 – Detector de RF AD8318</i>	27
<i>FIGURA 10 - LNBF (acervo pessoal)</i>	28
<i>FIGURA 11 - Fonte 24 Volts (acervo pessoal)</i>	29
<i>FIGURA 12 - Especificações da fonte (acervo pessoal)</i>	29
<i>FIGURA 13 – Cabeçote (SolidWorks 2012)</i>	30
<i>FIGURA 14 - Braço do fuso (SolidWorks 2012)</i>	31
<i>FIGURA 15 – Suporte do motor (SolidWorks 2012)</i>	31
<i>FIGURA 16 – Exemplo de tela de parametrização do Edgecam (EdgeCam 2017)</i>	32
<i>FIGURA 17 - Peças usinadas (acervo pessoal)</i>	33
<i>FIGURA 18 - Mecanismo de inclinação (acervo pessoal)</i>	34
<i>FIGURA 19 - Protótipo mecânico vista frontal (acervo pessoal)</i>	34
<i>FIGURA 20 - Protótipo mecânico vista traseira (acervo pessoal)</i>	35
<i>FIGURA 21 - Esquema Fonte 13/18 Vcc (Proteus 8)</i>	36
<i>FIGURA 22 - Circuito regulador Zenner 5.1 V (Proteus 8)</i>	37
<i>FIGURA 23 - Interface IHM x Arduino (acervo pessoal)</i>	38
<i>FIGURA 24 - Conjunto IHM (acervo pessoal)</i>	38
<i>FIGURA 25 - Protótipo da PCI (Proteus 8)</i>	39
<i>FIGURA 26 - Simulação da PCI (Proteus 8)</i>	40
<i>FIGURA 27 - PCI obtida (acervo pessoal)</i>	40
<i>FIGURA 28 - Controle eletrônico (acervo pessoal)</i>	41
<i>FIGURA 29 – Telas de seleção da IHM (Acervo Pessoal)</i>	43
<i>FIGURA 30 – Diagrama de interligação do sistema de controle (Acervo Pessoal)</i>	45
<i>FIGURA 31 - Multímetro Minipa ET-2082C (Acervo Pessoal)</i>	46

<i>FIGURA 32 - SATLINK WS-6906 (Acervo Pessoal)</i>	46
<i>FIGURA 33 - Inclinação de saída no modo de medição (datasheet AD8318)</i>	48
<i>FIGURA 34 - Montagem do teste (Acervo Pessoal)</i>	49
<i>FIGURA 35 - Tela de opção do display (Acervo Pessoal)</i>	50
<i>FIGURA 36 - Satélite Amazonas 61W selecionado (Acervo Pessoal)</i>	50
<i>FIGURA 37 - Tela durante a tomada de sinais (Acervo Pessoal)</i>	51
<i>FIGURA 38 - Medição com maior nível (Acervo Pessoal)</i>	51
<i>FIGURA 39 - Tela mostrando maior nível de medição (Acervo Pessoal)</i>	52
<i>FIGURA 40 - Tela de apontamento Concluído (Acervo Pessoal)</i>	52

LISTA DE TABELAS

<i>TABELA 1 - Pinagem LCD Key x Arduino Nano (Acervo Pessoal - Excel 2007).....</i>	<i>39</i>
<i>TABELA 2 - Lista de Componentes (Proteus 8)</i>	<i>42</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Justificativa.....	14
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Metodologia.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	20
3.1 Prototipagem Mecânica	20
3.1.1 Sistema de Tração.....	21
3.4 Automação	21
3.4.1 Arduino	22
3.4.2 Teclado IHM.....	22
3.4.3 Bússola AK8975	24
3.4.4 Driver TB6560AHQ.....	25
3.4.5 Motores de Passo	26
3.4.6 Detector de RF AD8318	27
3.4.6 LNBF.....	27
3.4.7 Fonte 24 Vdc	28
3 DESENVOLVIMENTO	30
3.1 Projeto mecânico	30
3.2 Projeto eletrônico.....	35
3.3 Programação	42
3.4 Funcionamento	42
3.5 Testes realizados	46
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	53
4.1 Resultados.....	53
4.2 Melhorias propostas.....	53
5 CONCLUSÕES	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

As telecomunicações desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de qualquer nação, permitindo a comunicação pelos sistemas de telefonia, dados digitais, teledifusão, entre outros serviços. Entretanto, o Brasil é um país de grandes dimensões territoriais, onde municípios distantes dos grandes centros urbanos nem sempre são contemplados com a infraestrutura adequada pelas operadoras dos serviços supracitados. Nestes casos, é essencial o uso de tecnologias de comunicação via satélite.

Atento a este cenário e possível nicho de mercado que o trabalho foi idealizado; buscando desenvolver um equipamento que possibilite realizar a instalação de antenas parabólicas por usuários que possuam pouco conhecimento técnico, através de um dispositivo portátil aliado à uma interface amigável. Ao final, este equipamento poderá ser utilizado nas mais diversas aplicações de recepção e/ou transmissão via satélite como links de telefonia, televisão, rádio e internet, necessitando apenas de algumas atualizações de firmware que possuam os dados necessários para estabelecer a comunicação com os enlaces dos satélites geoestacionários desejados.

1.1 JUSTIFICATIVA

A automatização do processo de apontamento de antena parabólica traz o benefício da agilidade e autonomia aos usuários, permitindo expandir a utilização dos meios de telecomunicação para localidades remotas em áreas sem infraestrutura e de difícil acesso, além de permitir a instalação por pessoas sem treinamento técnico especializado.

Através do desenvolvimento que será realizado neste trabalho será obtido um maior conhecimento e estudo da tecnologia empregada.

Futuramente, com maiores aperfeiçoamentos, o dispositivo de apontamento de satélite automatizado poderá ser desenvolvido em escala comercial.

1.2 OBJETIVOS

- I. Projetar e construir um dispositivo de apontamento de antena parabólica automatizado;
- II. Obtenção de um equipamento com custo reduzido em comparação aos já existentes no mercado e de fácil operação através de uma interface amigável;
- III. Colocar em prática os conhecimentos adquiridos nas várias disciplinas do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, tais como: Desenho Técnico, Programação, Sistemas Microprocessados, Processos de Fabricação, Eletrônica Analógica, Eletrônica Digital, CNC & CAM;

1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica dos assuntos relacionados com as tecnologias necessárias à construção do equipamento proposto, além de considerar demandas profissionais por mim experimentadas que agregaram muito para a obtenção do sucesso do projeto.

Para certificar o funcionamento dos circuitos eletrônicos projetados, antes de sua implementação final na placa de circuito impresso, os mesmos foram testados em ensaios montados em matriz de contato. Todos os testes de funcionamento foram realizados ao ar livre em situações climáticas diversas para atestar o funcionamento na maioria das variações ambientais possíveis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo a IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers ou Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), a ideia dos satélites de telecomunicação apareceu pouco depois da segunda guerra mundial pelo então oficial de radar Arthur C. Clarke.

Originalmente Arthur, em seu artigo publicado na revista *Wireless World*, propôs a colocação em órbita de três repetidores separados de 120° abaixo da linha do equador, a 36000 Km de altitude e geoestacionários. Estes repetidores deveriam realizar a comunicação de rádio e televisão para todo o globo terrestre.

Mas Arthur não foi o pioneiro desta idéia. Newton já havia sugerido no livro '*Philosophie Naturalis Principia Mathematica*', em 1687, o lançamento de um satélite artificial através de um canhão.

Devido às limitações tecnológicas que possibilitassem o lançamento de tais equipamentos através de foguetes, o exército americano, entre 1951 e 1955 fez os primeiros experimentos de propagação de radiocomunicações utilizando nosso satélite natural, a lua como refletor passivo. Estes experimentos não obtiveram sucesso devido as distâncias entre os astros utilizados nos mesmos, falta de tecnologia para trabalhar com sinais de baixíssima amplitude e a relação sinal-ruído (SNR) obtida.

Só em 1957, o Sputnik 1, realizou a primeira experiência de transmissão e recepção de sinais do espaço. Lançado pela URSS, o Sputnik 1 enviava para Terra sinais nas frequências de 20 e 40 MHz, o que provava a possibilidade de uma comunicação à longa distância.

Apesar dos russos terem sido os primeiros a realizarem uma transmissão de rádio do espaço através de um satélite, foi o presidente norte americano Eisenhower que obteve o título primeiro homem a transmitir sua voz do espaço em 1958. Tal voz continha mensagens de feliz natal e foi transmitida de um gravador colocado no primeiro satélite de comunicações lançado pelos americanos chamado Score.

Somente no final de 1960, com a troca das baterias por células solares, foi realizada a retransmissão de sinais enviados da Terra. O satélite militar Courier 1B podia armazenar e retransmitir até 68000 palavras por minuto.

Somente a partir de 1960, a utilização de satélites artificiais tornou-se a melhor opção para as telecomunicações, sendo abandonados os experimentos com satélites naturais.

O primeiro satélite de comunicações verdadeiro foi lançado em 1962. O Telstar 1 tinha órbita baixa e foi o primeiro satélite de utilização comercial, patrocinado pela AT&T Corporation (American Telephone and Telegraph).

Depois de 1962, vários outros satélites foram lançados com objetivo de realizar testes, aperfeiçoamentos e comunicações intercontinentais como forma de atrair atenção e mercado, como o Telstar 2, Relay 1, Relay 2, Syncom1, Syncom 2 e o Syncom 3 que se destaca por ter realizado, ao vivo, a retransmissão dos jogos olímpicos de 1964.

Em 1965 é lançado o Intelsat, mais conhecido como Early bird com 240 circuito telefônicos, projetado para funcionar 18 meses, mas permaneceu em operação por 4 anos.

Depois de 1965, com a expansão deste mercado, os projetos ficaram cada vez mais especializados e voltados para países isolados. O Canadá através do Anik, a Espanha através do Hispasat e os EUA com sua rede de satélites de defesa DSCS (Defense Satellite Communications System), FLTSATCOM (Fleet Satellite Communications System) e o AFSATCOM (Air Force Satellite Communication System) desenvolveram tecnologia e aprimoraram as técnicas de exploração das comunicações via satélite. Durante a Guerra Fria, a URSS também desenvolveu sua série de satélites Molniya que tiveram um impacto econômico, social e político muito grande, por unificar o imenso estado soviético tão diversificado, através da televisão e do telefone.

Na década de 70, as antenas de comunicação com os satélites tinham 12 m de diâmetro e requeriam elevada potência, cerca 90 dBW, o que equivale a uma potência de aproximadamente 1 Giga se convertermos para unidade de potência em W, conforme demonstra Mattos[1]. Por este motivo eram realizadas somente em estações que distribuíam

os dados captados localmente. No início da década de 80 as antenas possuíam em torno de 7 metros e de lá para cá o desenvolvimento não parou tanto no tamanho quanto nas formas de transmissão/recepção além da compactação dos dados visando a economia de banda (onde se lê banda pode ser lido meio circulante) [2].

O termo satélite empregado atualmente vem do latim *satelles* ou *satellit*, que significa corpo que gravita em torno de um astro de massa preponderante (dominante), em particular ao redor de um planeta. Por esta razão há a necessidade de diferenciação inicial entre satélites naturais e os artificiais que são construídos pelo homem. Dentre dessa categoria, existem os satélites militares, os científicos, de navegação e os de comunicações.

Cerca de 75% dos satélites lançados a partir de 1957, tem finalidades militares. Desenvolvidos com os objetivos de telecomunicação, observação, alerta avançado, ajuda à navegação e reconhecimento, os satélites militares, em função do objetivo a que foram concebidos, giram em diferentes altitudes e órbitas. Os satélites de comunicação são os utilizados na transmissão mundial de informações digitais. Estes satélites podem servir simultaneamente a diversas estações terrestres de localidades ou mesmo de países diferentes.

Existem três tipos de órbitas que um satélite pode cursar. A primeira e mais comum delas é a geoestacionária, utilizadas para fins de comunicação, são posicionadas a uma altitude entre 35800 km e 36000 km e necessitam de 23h e 56 minutos para darem uma volta em torno da Terra. Neste caso a órbita é denominada geossíncrona devido ao fato do tempo de volta em torno do planeta ser o mesmo que o astro leva para cumprir um movimento de rotação. Caso o plano da órbita se confunda com o equador, o satélite parecerá estático a um observador terrestre, devido ao fato dos dois terem a mesma velocidade angular e eixo de rotação, assim obtêm-se uma órbita geoestacionária. Devido a isso, a referida altitude sob a linha do equador, é disputada já que, a fim de não haver interferência entre satélites, os mesmos devem estar afastados de, no mínimo, 2°. Sendo assim, limita-se em 180 o número de satélites nesta órbita que possuem várias finalidades como transmissão de televisão, governamental e militar. A utilização de frequências diferentes, pode solucionar tais inconvenientes, diminuindo a distância entre os satélites, porém o aumento das frequências além de ter um custo levado tecnologicamente pois necessita de equipamentos muito específicos, também é polêmico devido aos acordos internacionais de utilização das bandas de frequências.

3 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Como este projeto proposto é para fins didáticos e considerando mitigar custos elevados com a assinatura de planos de dados junto às operadoras de telecomunicações, foi adotado como sistema de testes a recepção de sinais de televisão via satélite, mais acessíveis, com canais FTA que possibilitam o acesso sem a necessidade de assinaturas de planos para a recepção dos sinais. Apesar deste enlace adotado para a aplicação principal do dispositivo, nada impede que após a comprovação de funcionamento do protótipo, o mesmo seja readaptado para a transmissão/recepção de dados, necessitando apenas de pequenas alterações dos dados contidos em seu firmware, inserindo as informações relativas aos satélites.

Para demonstrar a teoria desenvolvida, mostrou-se necessário criar um protótipo mecânico com dois graus de liberdade que integrado à uma antena parabólica comercial de 60 cm de diâmetro, possibilitasse a realização da dinâmica necessária.

3.1 PROTOTIPAGEM MECÂNICA

O projeto mecânico foi elaborado com o uso do software CAD Solidworks 2012 (disponível) para elaborar o esboço das peças necessárias na montagem do protótipo. O software CAM Edgecam 2017 (disponível) foi a ferramenta adotada para obter o código NC necessário para realizar o fresamento no centro de usinagem ROMI D 600 ilustrado na figura 1 e cedido para a tarefa pelo IFSC campus RAU.



FIGURA 1 - Centro de Usinagem ROMI D 600 (acervo pessoal)

3.1.1 SISTEMA DE TRACÇÃO

Como redução de custos na montagem do protótipo, para realizar o tracionamento no movimento de inclinação da antena, foi adaptada uma barra roscada de aço inoxidável M8 acoplada ao eixo do motor através de um flange usinado em aço 1020 por torneamento convencional, como alternativa ao uso de um fuso de esferas recirculantes, que tornaria o conjunto mais preciso e silencioso. Em substituição à bucha de esferas do fuso citado, foi usinada e adaptada ao conjunto uma bucha simples com rosqueamento interno, confeccionada em bronze, material escolhido devido suas características auto lubrificantes. Na figura 2 está um comparativo entre as duas opções citadas.

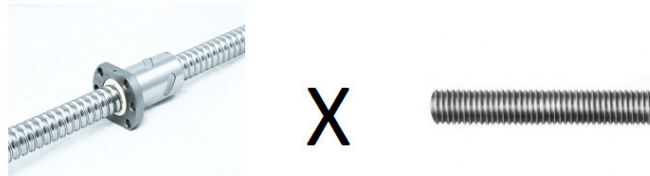


FIGURA 2 - Fuso esfera x Barra roscada

Fonte: <http://www.kalatec.com.br/produtos/fusos-de-esferas/>

<https://www.royalmaquinas.com.br/barra-roscada-8mm.html>

3.4 AUTOMAÇÃO

Para implementar a automação do sistema foram utilizados componentes comerciais comuns como reguladores de tensão, capacitores, resistores entre outros para construção de um circuito regulador de tensão que fornecesse as voltagens necessárias para os circuitos de controle, além de dispositivos comerciais encontrados no mercado como a plataforma de prototipagem Arduino, circuitos voltados para desenvolvimento de projetos com Arduino conhecidos como shields, controladores para motores de passo basicamente implementados com base em circuitos driver.

3.4.1 ARDUINO

O controle de todo o sistema será feito através de um Arduino Nano apresentado na figura 3.

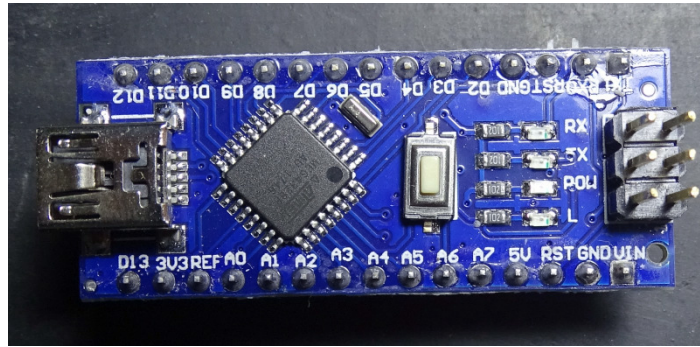


FIGURA 3 - Arduino Nano (acervo pessoal)

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software de fácil utilização, destinado a qualquer pessoa que desenvolva projetos interativos.

O Arduino Nano, é uma placa pequena e completa, baseada no ATmega328P não possui conector de entrada DC e pode ser programado com um cabo USB Mini-B em vez de um cabo padrão[3].

3.4.2 TECLADO IHM

Como IHM (Interface Homem/Máquina) do sistema, foi utilizado um Display LCD 16x2 com teclado operador, mostrado na figura 4. Este dispositivo, como o próprio nome diz, consiste basicamente em um Display LCD que permite a exibição de 2 linhas com 16 caracteres cada por vez.

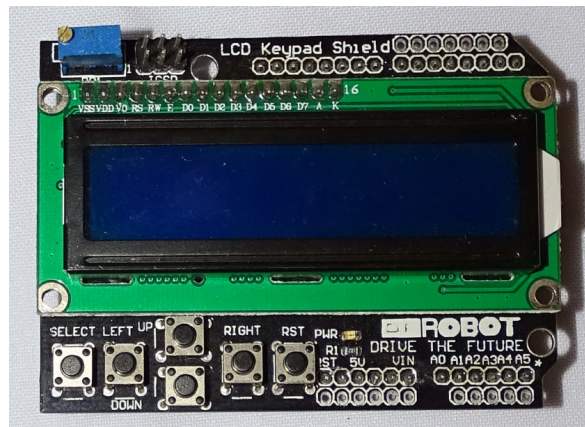
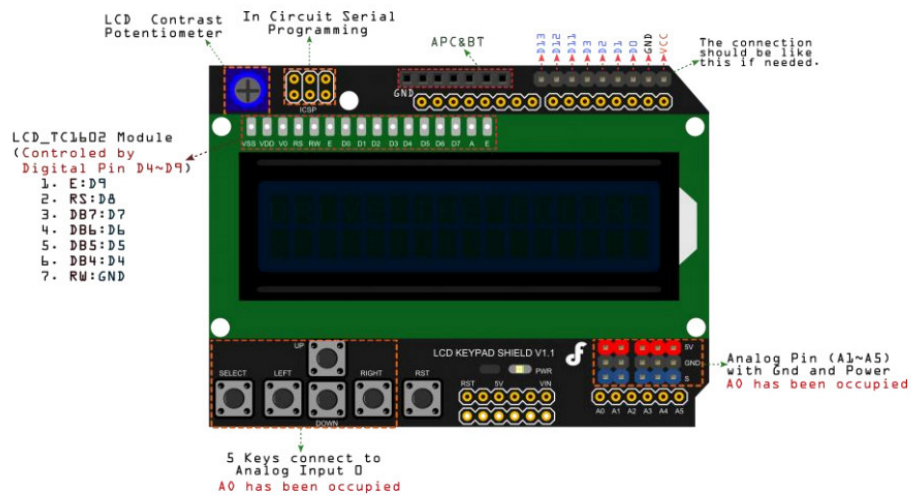


FIGURA 4 - Teclado LCD 16x2 com teclado operador (acervo pessoal)

Este shield, indicado para conexão direta no Arduino UNO, é fornecido com os circuitos de polarização necessários ao seu funcionamento básico e equipado com um conjunto de teclas que podem ser configuradas através do software, seguindo as informações mostradas na figura 5.

Pinout



Instruction for D4 To D10 and Analog Pin 0

Pin	Function	Instruction
Digital 4(D4)		
Digital 5(D5)	D4~D7 are used as DB4~DB7	Four high order bidirectional tristate data bus pins. Used for data transfer and receive between the MPU and the LCD.
Digital 6(D6)		
Digital 7(D7)		
Digital 8(D8)	RS	Choose Data or Signal Display
Digital 9(D9)	Enable	Starts data read/write
Digital 10(D10)	LCD Backlight Control	
Analog 0(A0)	Button select	Select, up, right, down and left

FIGURA 5 - Pinagem do display LCD 16x2

3.4.3 BÚSSOLA AK8975

Para determinar o posicionamento de azimute (ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado) do sistema foi utilizada uma bússola de 3 eixos através do CI AK8975. A comunicação com a plataforma Arduino se dá através do protocolo I2C.

I2C é a sigla de Inter-Integrated Circuit, e basicamente é um protocolo de comunicação entre dispositivos. O barramento I2C foi projetado pela Philips no início dos anos 80 para possibilitar a comunicação entre componentes que estejam instalados na mesma placa de circuito. A Philips Semiconductors passou a adotar a NXP em 2006. Às vezes o barramento é chamado de IIC ou I²C bus. A velocidade de comunicação original foi definida com um máximo de 100 Kbps e muitos aplicativos não exigem transmissões mais rápidas. Para que necessitem de uma maior velocidade de transmissão, existe um fastmode de 400 KB. Desde 1998 uma opção de alta velocidade de 3,4 Mbps está disponível. Recentemente, o “fastmode plus”, com uma taxa de transferência como esta foi especificada. O I2C não é usado apenas em placas individuais, mas também para conectar componentes conectados por cabo. Simplicidade e flexibilidade são características chave que tornam esse barramento atraente para muitas aplicações [4].

O AK8975 é um CI bússola eletrônica de 3 eixos com tecnologia de sensores de efeito hall de alta sensibilidade. O encapsulamento pequeno de AK8975 incorpora sensores magnéticos para detectar o magnetismo terrestre no eixo X, Y e Z, bloco amplificador de sinal e um circuito aritmético para processar o sinal de cada sensor. Também estão integrados bloco de potência e bloco de interface. Possui ampla faixa de medição dinâmica e alta resolução com menor consumo de corrente. Interface serial digital, interface de barramento C para controlar as funções do AK8975 e para ler os dados medidos pela CPU externa, fonte de alimentação dedicada para I2C, possui oscilador no chip, portanto, nenhum relógio externo é necessário [5]. A figura 6 trás o detalhe do dispositivo adotado no projeto.

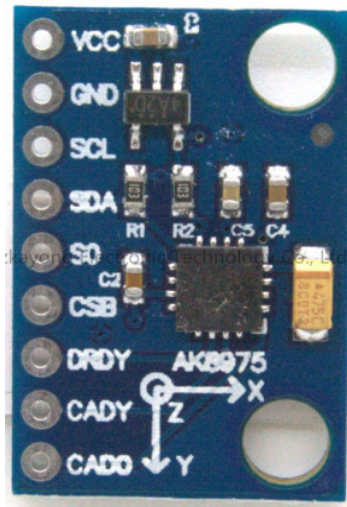


FIGURA 6 - Bussola 3 eixos AK8975 (acervo pessoal)

3.4.4 DRIVER TB6560AHQ

Para realizar o acionamento dos motores de passo foram utilizados dois módulos driver TB6560 apresentado na figura 7.

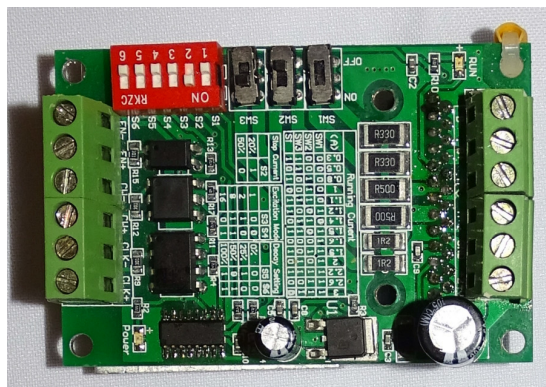


FIGURA 7 - Driver TB6560 (acervo pessoal)

O TB6560AHQ é um CI driver do tipo chopper PWM, projetado para controles de micro passos com entrada senoidal de motores de passo bipolares. Pode ser usado em aplicações que requerem 2 fases, gera baixa vibração, alto desempenho para frente e condução reversa em um motor de passo bipolar de duas fases usando apenas um sinal de clock [6].

3.4.5 MOTORES DE PASSO

Para realizar o movimento do conjunto com dois graus de liberdade, devido ao torque e a precisão exigidos, foram utilizados dois motores de passo NEMA 23 com 4,6 kgf de torque efetivo que podem ser visualizados na figura 8.

Motores de passo são dispositivos eletromecânicos, de posicionamento, que convertem sinal elétrico (digital) em torque, rotacionando em incrementos precisos (passos) uma carga. Os motores de passo são divididos em três tipos: de relutância variável, magneto permanente e híbridos. Os motores de passo híbridos, utilizados neste projeto possuem 2 fases e são constituídos por um rotor, um estator, tampa de montagem, flange e rolamentos. O rotor é construído em duas secções e cada secção possui 50 dentes. O estator, que é a carcaça, possui 8 pólos, cada um com 5 dentes, perfazendo um total de 40 dentes. As bobinas são enroladas sobre os dentes do estator e estão conectadas aos pares. Desse modo, quando a corrente atravessa um par de espiras do estator, atrairão os dentes com polaridades opostas em cada extremidade do rotor. O número de passos que o motor gira, teoricamente, é exatamente igual ao número de pulsos recebidos. Ou seja, se um dispositivo de acionamento enviar 200 pulsos a um tradicional motor híbrido, esse se deslocará os exatos 200 pulsos. Sabendo que o motor é de 200 PPR (pulsos por revolução), os exatos 200 pulsos compreenderam o deslocamento efetivo de 1 revolução ($200 \text{ pulsos} \times 1.8^\circ = 360^\circ$). A velocidade do motor é diretamente relacionada a frequência dos pulsos aplicados. Se analisarmos o tradicional motor híbrido de 200 PPR, se o dispositivo de acionamento enviar exatos 200 pulsos na frequência de 400Hz, o motor irá completar 1 revolução (360°) na velocidade de 2 RPS (rotação por segundo). Nesse mesmo raciocínio se contemplarmos os mesmos 200 pulsos, porém sendo gerados a 200Hz, o mesmo deslocamento será feito em 1 RPS ou seja 60 RPM. A precisão do motor de passo é de 3 à 5% do valor de um passo, valor não acumulativo. Se o motor é de resolução de 200 PPR, ou seja, passo de 1.8° , a precisão será 5% do valor de 1.8° , aproximadamente 0.09° [7].

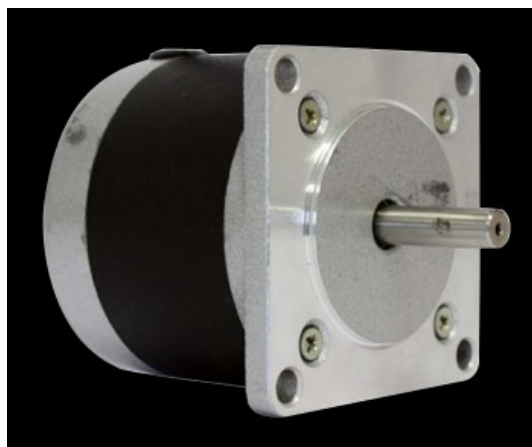


FIGURA 8 - Motor de passo NEMA 23

Fonte: https://www.robocore.net/loja/produtos/motor-de-passo-nema23-4_6kgf_cm.html

3.4.6 DETECTOR DE RF AD8318

O componente mostrado na figura 9 é responsável por possibilitar o apontamento e obtenção do melhor nível de sinal para o enlace desejado, o detector logarítmico de RF AD8318 que pode detectar frequências desde 1 Mhz até 8 Ghz, entregando como resposta um nível de tensão DC em sua saída que varia entre 0 e 2,5 Vcc com uma resolução de aproximadamente - 25 mV/dB, que se comporta de forma inversa ao nível do sinal medido [8].

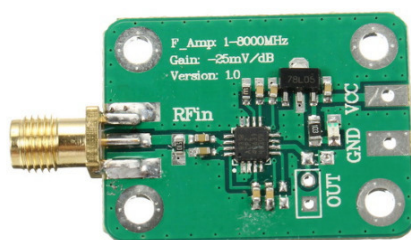


FIGURA 9 – Detector de RF AD8318

Fonte: <https://pt.aliexpress.com/item/AD8318-RF-Logarithmic-Detector-1-8000MHz-70dB-RSSI-Measurement-Power-Meter>

3.4.6 LNBF

A captação dos sinais via satélite dá-se através de um LNBF. Para o projeto foi escolhido um modelo twin. Este LNBF mostrado na figura 10 é bem comum e encontrado facilmente no comércio, utilizado na recepção de sinais de televisão em banda KU.



FIGURA 10 - LNBF (acervo pessoal)

O LNB é um dispositivo projetado para amplificar os sinais de satélite e convertê-los de uma alta frequência para uma frequência mais baixa. Os LNBFs podem ser controlados para captar sinais com diferentes polarizações. Os sinais de televisão podem então ser transportados por um cabo aéreo de blindagem dupla para o receptor de satélite, mantendo a sua alta qualidade. O LNBF universal é a versão padrão atual, que pode manipular toda a faixa de frequência de 10,7 a 12,75 GHz e receber sinais com polarização vertical e horizontal. O LNBF mais comumente usado na verdade é chamado de LNBF, onde o F significa feedhorn. Um LNBF pode ser único (uma saída), twin (duas saídas), quad (quatro saídas) ou octo (oito saídas). Um LNBF universal, como o utilizado no projeto, possui as seguintes especificações: oscilador local (LO): 9,75 / 10,6 GHz, frequência de 10,7 ~ 12,75 GHz, Ruído (NF) 0,5 dB, polarização linear, frequência de saída com intervalo de banda baixa entre 950 e 2050 MHz e banda alta de 1100 a 2150 MHz, impedância de saída de 75 ohms e conector de saída tipo F-fêmea [9].

3.4.7 FONTE 24 VDC

Para alimentar o conjunto foi adotada a fonte chaveada das figuras 11 e 12 que fornece 24 volts na saída com 70 W de potência.

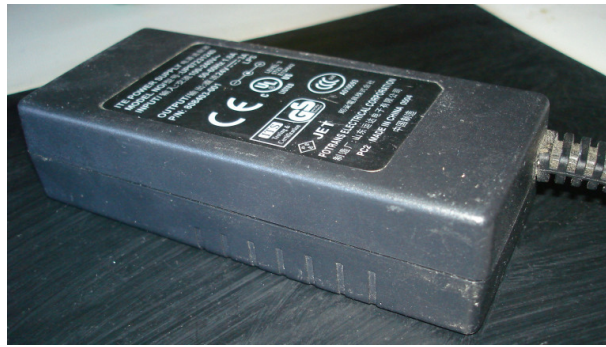


FIGURA 11 - Fonte 24 Volts (acervo pessoal)



FIGURA 12 - Especificações da fonte (acervo pessoal)

As fontes chaveadas começaram a ser desenvolvidas nos anos 60. O objetivo era diminuir o volume, peso e dissipação características das fontes lineares convencionais, exigências principalmente do programa espacial, obtendo fontes compactas e de alto desempenho. Com o avanço da microeletrônica e com a necessidade cada vez maior de se produzir equipamentos compactos e de baixo consumo, as fontes chaveadas passaram a ser empregadas em quase todos os dispositivos eletroeletrônicos da atualidade. Sua aplicação estende-se largamente como fontes de alimentação para os circuitos de comando de conversores de maior potência, destinados ao acionamento de motores elétricos [10].

Para este projeto qualquer fonte de corrente contínua que possa fornecer 1,5 Amperes e que mantenha a tensão estável poderá ser adotada.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 PROJETO MECÂNICO

O protótipo mecânico idealizado deve se adaptar à maioria das antenas parabólicas de chapa de aço com diâmetros de 60 cm utilizadas para comunicação em banda KU da atualidade. Com este objetivo foram realizadas análises em conjuntos mecânicos já existentes para o mesmo fim e elaboradas adaptações para possibilitar a automatização do mecanismo necessário.

Após criar alguns esboços manualmente, os mesmos foram desenhados utilizando o software CAD SolidWorks versão 2012 (disponível).

A junção das peças desenhadas no CAD, resultaram na montagem do cabeçote (figura 13), do braço do fuso (figura 14) e o suporte do motor (figura 15) responsáveis respectivamente pelo movimento de azimute e de inclinação do mecanismo. Tais peças associadas com componentes auxiliares, tornaram possível a construção do protótipo mecânico final.



FIGURA 13 – Cabeçote (SolidWorks 2012)

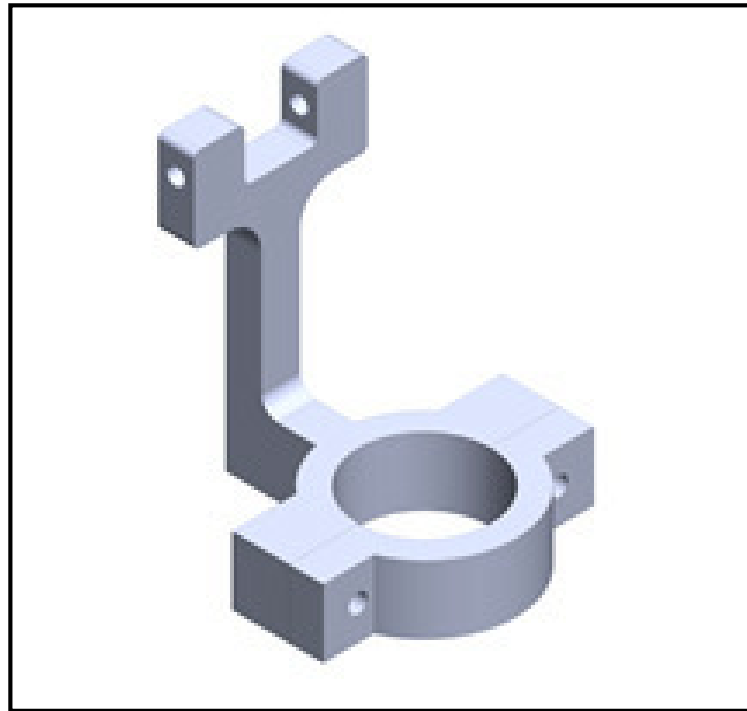


FIGURA 14 - Braço do fuso (SolidWorks 2012)

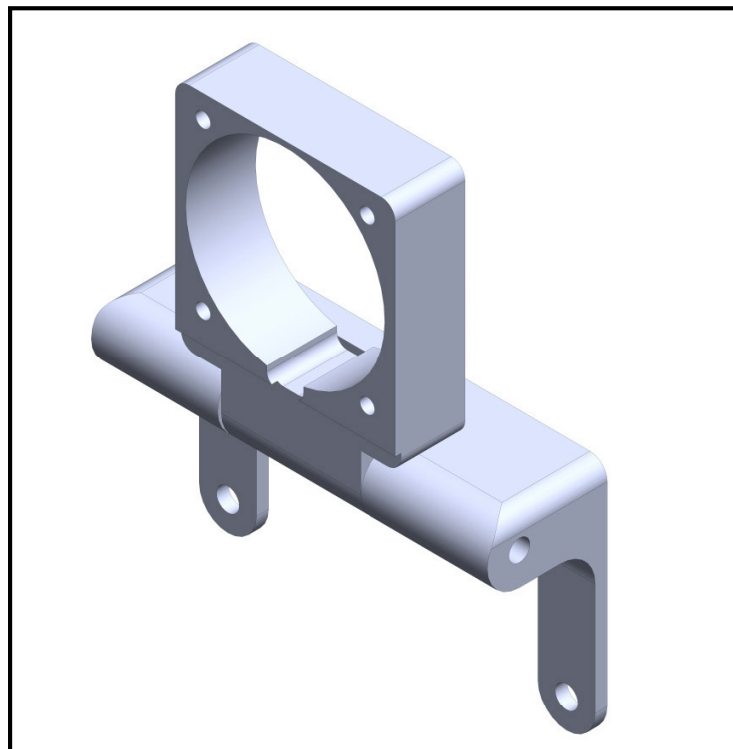


FIGURA 15 – Suporte do motor (SolidWorks 2012)

Com o projeto CAD das peças necessárias para a montagem do protótipo, foi utilizado o software CAM Edgcam versão 2017 (figura 16), gerando o código necessário para realizar o fresamento no centro de usinagem ROMI D 600 utilizado na tarefa.

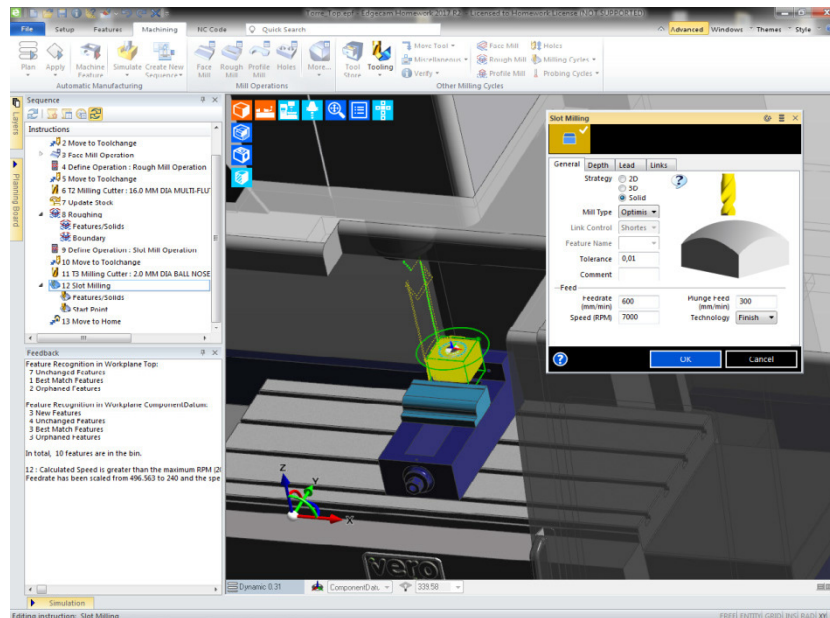


FIGURA 16 – Exemplo de tela de parametrização do Edgcam (EdgeCam 2017)

Para o desbaste foram utilizados insertos intercambiáveis APKT para o fresamento do alumínio. O acabamento foi realizado utilizando fresas HSS de topo reto com medidas de 4, 8, 16 e 25 mm e de metal duro com pontas esféricas com diâmetros de 2 e 4. Os cálculos para obter os parâmetros de corte necessários na usinagem das peças, estão disponíveis no ANEXO A e foram obtidos através das informações contidas no manual PROTEC [11]. Ao final do processo de fabricação das peças, as mesmas obtiveram um acabamento satisfatório conforme demonstrado na figura 17.



FIGURA 17 - Peças usinadas (acervo pessoal)

Para diminuir o atrito e aliviar as cargas aplicadas ao motor de azimute, no cabeçote do conjunto, foi usinado um canal com raio igual a $D/2$ tanto no conjunto do eixo, quanto na tampa e base do cabeçote, onde D é a medida do diâmetro da esfera calculada para esta função. A dimensão da esfera foi obtida através de atribuição do perímetro do canal a ser usinado (em função das características mecânicas do conjunto); com este dado e valores comerciais de esferas disponíveis foram adotadas esferas de 2,4 mm de diâmetro resultando em canais de aproximadamente 1,15 mm de raio mantendo um afastamento de 0,1 mm entre os conjuntos envolvidos.

Como complemento, para possibilitar a montagem dos conjuntos, foram produzidas algumas peças usinadas através de torneamento convencional como a flange de fixação entre a barra roscada e o eixo do motor de passo, a bucha de suporte do conjunto entre outros. Foram utilizados parafusos M6 e M8 nas fixações.

O detalhe da figura 18 mostra o resultado final da montagem do mecanismo de inclinação.

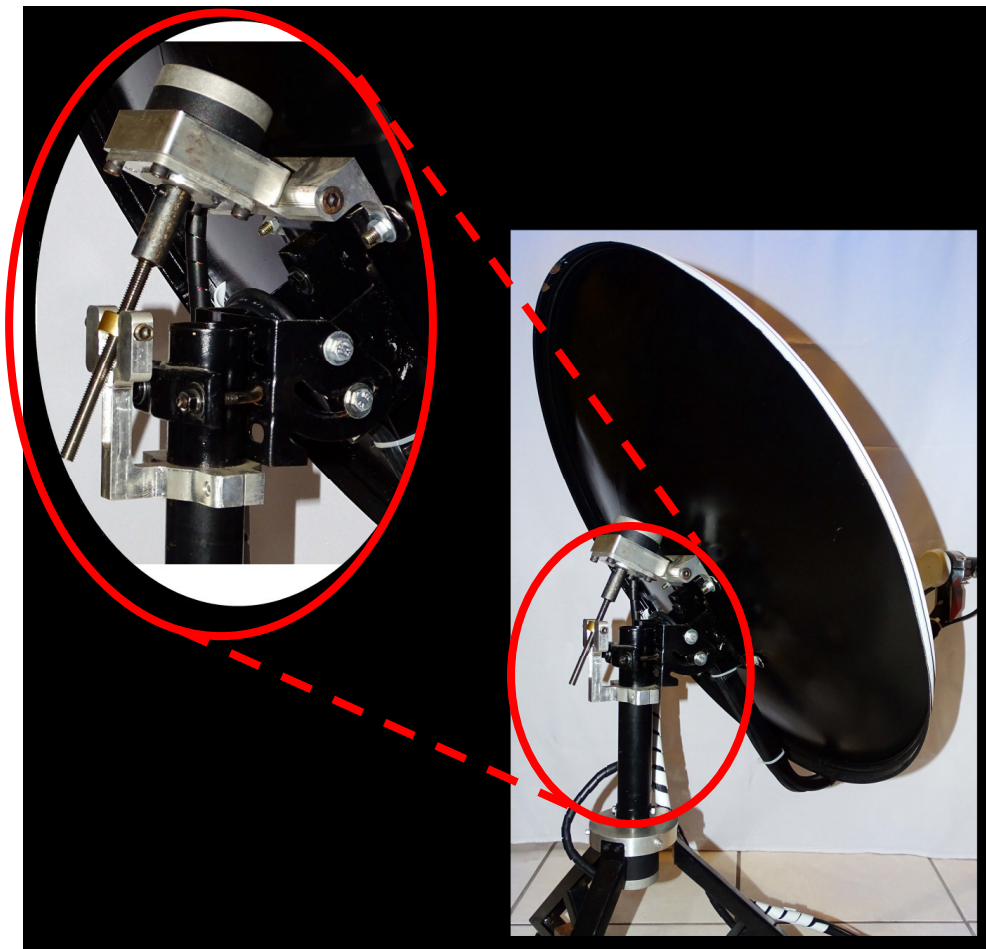


FIGURA 18 - Mecanismo de inclinação (acervo pessoal)

Ao final, com a montagem do conjunto mecânico obtivemos o protótipo, apresentado nas figuras 19 e 20, necessário para realizar a automação que será mostrada a seguir.



FIGURA 19 - Protótipo mecânico vista frontal (acervo pessoal)



FIGURA 20 - Protótipo mecânico vista traseira (acervo pessoal)

3.2 PROJETO ELETRÔNICO

Estudando as folhas de dados dos componentes escolhidos para o desenvolvimento dos circuitos necessários, foi montado com o uso do Proteus 8 o diagrama esquemático mostrado no ANEXO C e desenvolvida a PCI que comporta tanto os circuitos reguladores de tensão, quanto a placa de controle Arduino Nano e os demais periféricos.

O circuito regulador de tensão foi baseado no LM338 com encapsulamento TO-220, pois era o componente com maior corrente de trabalho, com preço acessível e que possibilitaria desenvolver um regulador ajustável digitalmente no caso de necessitarmos fornecer alimentação ao LNB, que conforme a polaridade do transponder a ser captado, necessita de tensões que variam em valores de 13 e 18 Vcc. Não foram necessários muitos testes para implementar a fonte de 13/18 Vcc, obtendo tal circuito do diagrama indicado no datasheet do LM338 para obtenção de uma fonte de tensão variável com acionamento digital indicada na página 10 [12]. Os únicos cálculos realizados foram para obter os resistores de polarização do regulador. Como forma de isolar o controle da fonte e a porta do Arduino adotada para realizar o chaveamento, foi utilizado um acoplador óptico TIL111(U2). Ao provocar a condução do transistor do acoplador utilizado como chave, os resistores dispostos no pino 1 do LM338(U1) ficam em arranjo paralelo, mudando o valor do resistor de polarização do regulador provocando a variação de 18 para 13 Vcc da tensão de saída. O detalhe do circuito

está na figura 21.

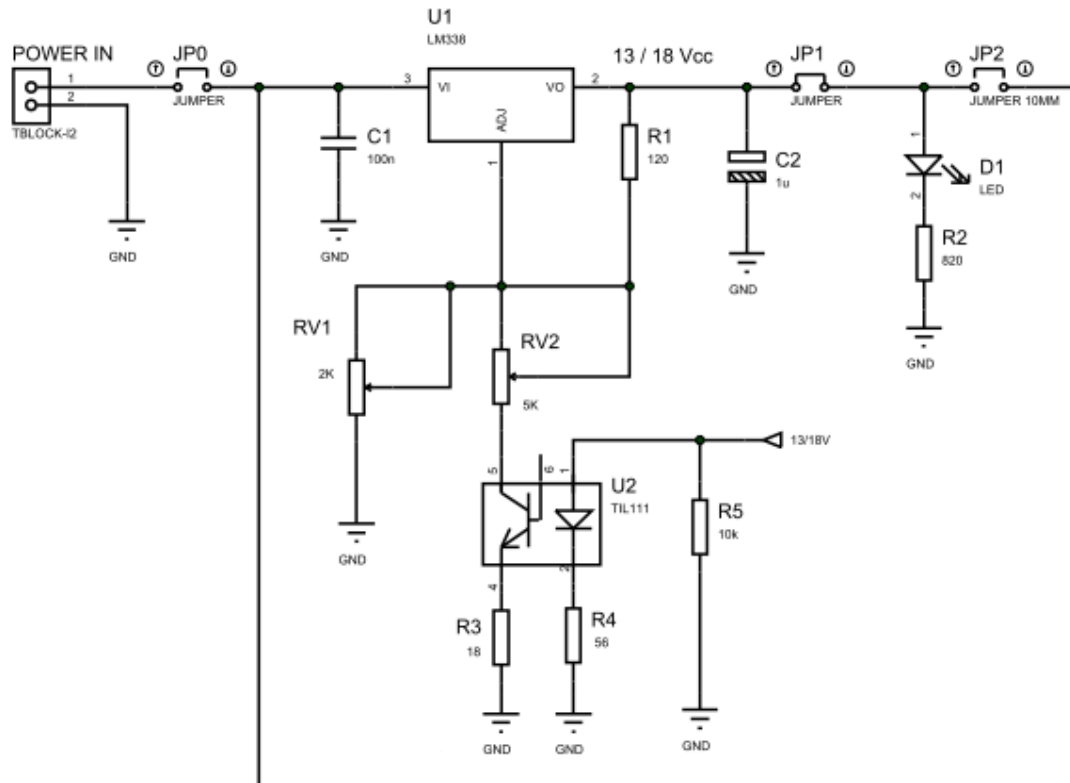


FIGURA 21 - Esquema Fonte 13/18 Vcc (Proteus 8)

As fórmulas para calcular os valores dos resistores de polarização do LM338, também estão disponíveis no datasheet do mesmo, para obter uma melhor resposta e possibilitar um ajuste fino das tensões liberadas pelos circuitos reguladores, foram adotados trimpots em substituição aos resistores de valores fixos calculados.

As fontes de tensão de 5 e 9 volts foram implementadas para respectivamente alimentar os circuitos do Arduino e para alimentar o detector logaritmo de RF AD8318, seguindo as informações disponíveis no datasheet do LM338

Para definir o resistor de zener utilizado no circuito redundante de proteção da fonte 5 Vcc [13] e mostrado na figura 22, o mesmo foi calculado simulando um colapso do regulador LM338 (U3), o que causaria a passagem dos 24 Vcc da fonte primária diretamente para os circuitos alimentados pela fonte 5 volts, danificando-os. Por esta razão a potência atribuída ao

resistor R8 em questão foi de 1 W o que, em caso de elevação da tensão de saída do regulador LM338(U3), causará a queima de R8, abrindo o circuito e evitando um dano generalizado ao controle.

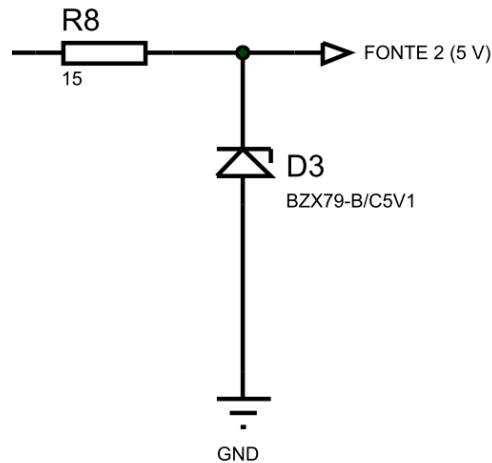


FIGURA 22 - Circuito regulador Zenner 5.1 V (Proteus 8)

Todos os cálculos realizados estão disponíveis no ANEXO D.

Ao final obteve-se três fontes lineares de tensão de 5, 9 e 13/18 Vcc, dimensionadas propositalmente para receber na entrada uma tensão de 24 Vcc, mesma tensão necessária para alimentar os drivers dos motores de passo o que possibilitará utilizar no equipamento tanto uma fonte chaveada de 24 Vcc, como uma bateria comercial de mesmo valor de tensão permitindo uma maior portabilidade do sistema.

Na interligação dos módulos de controle foram utilizados conectores tipo DB9 e cabo manga 15 vias AWG 25 que pode suportar até 30 Volts com uma corrente de 0,5 Ampere suficiente para a transmissão de dados exigida nos circuitos.

Inicialmente foram desenvolvidos protótipos através do software Proteus 8, para possibilitar a ligação da plataforma Arduino Nano, com os diversos periféricos necessários para constituição do conjunto. Após alguns testes e melhorias foi desenvolvida a interface mostrada nas figuras 23 e 24.

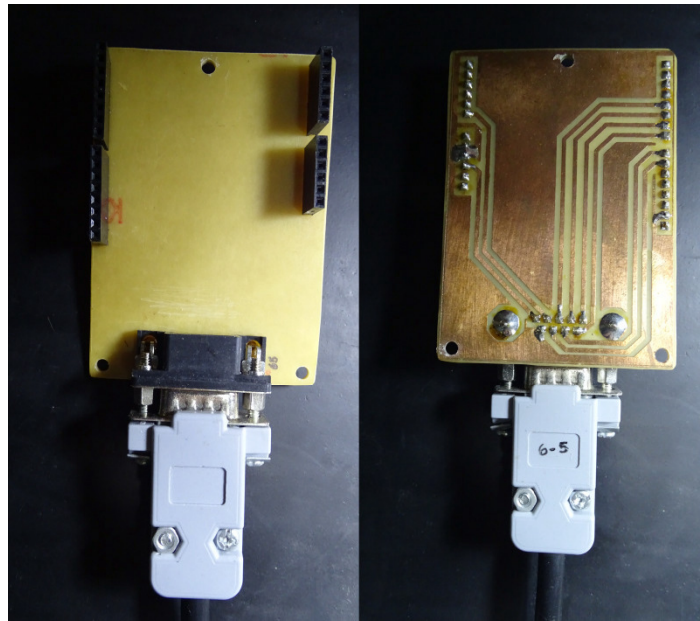


FIGURA 23 - Interface IHM x Arduino (acervo pessoal)

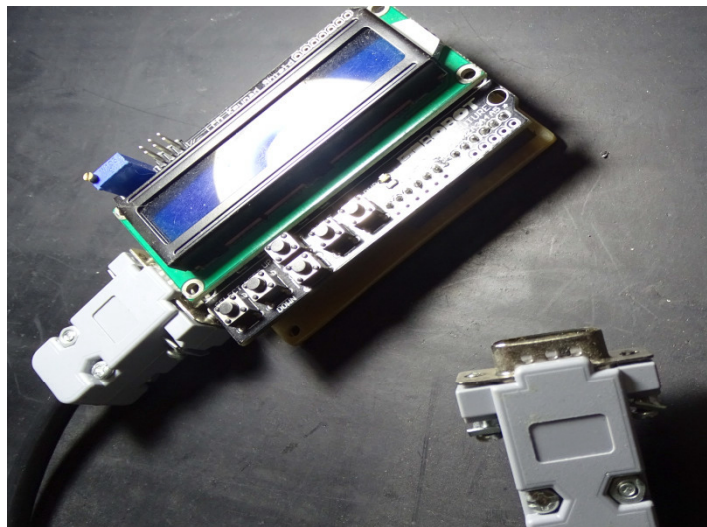


FIGURA 24 - Conjunto IHM (acervo pessoal)

Como o display LCD 16x2 adotado é montado de forma a ser conectado diretamente na plataforma Arduino UNO, foram realizadas algumas modificações para que possibilitasse sua utilização junto ao Arduino Nano tanto na elaboração da interface quanto no código utilizado no controle do mesmo.

A pinagem adotada como interligação para controle do display é demonstrada na tabela 1.

Arduino - Pino		Display - Sinal
2	<====>	DB4
3	<====>	DB5
4	<====>	DB6
5	<====>	DB7
6	<====>	RS
7	<====>	ENA
A6	<====>	KEY

TABELA 1 - Pinagem LCD Key x Arduino Nano (Acervo Pessoal - Excel 2007)

Através do Proteus 8, foi elaborada uma PCI que agregasse a maioria do conjunto eletrônico utilizado, para posterior montagem do circuito conforme podemos observar na figura 25.

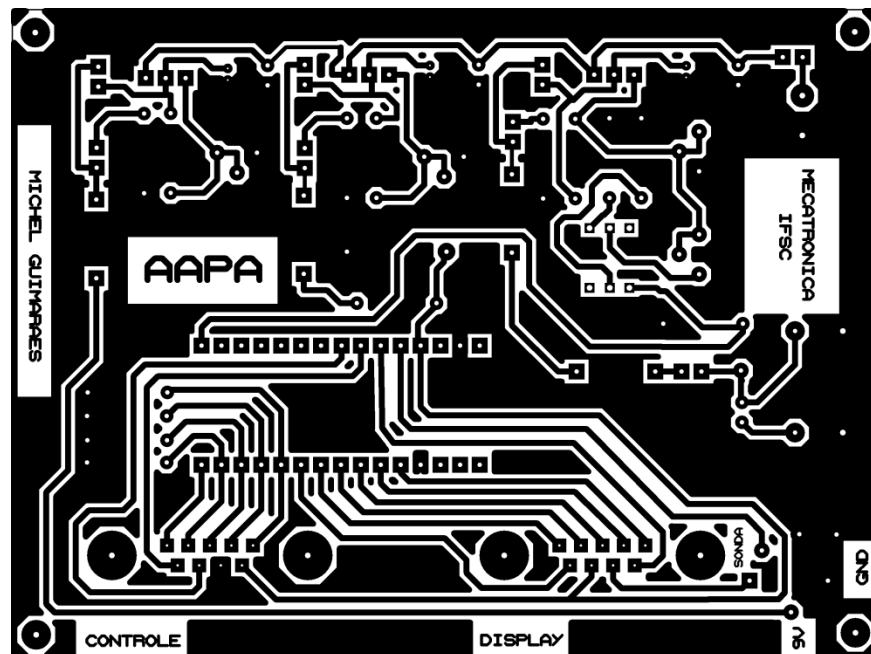


FIGURA 25 - Protótipo da PCI (Proteus 8)

Também com o Proteus foi possível simular o resultado final da placa projetada, mostrado na figura 26.

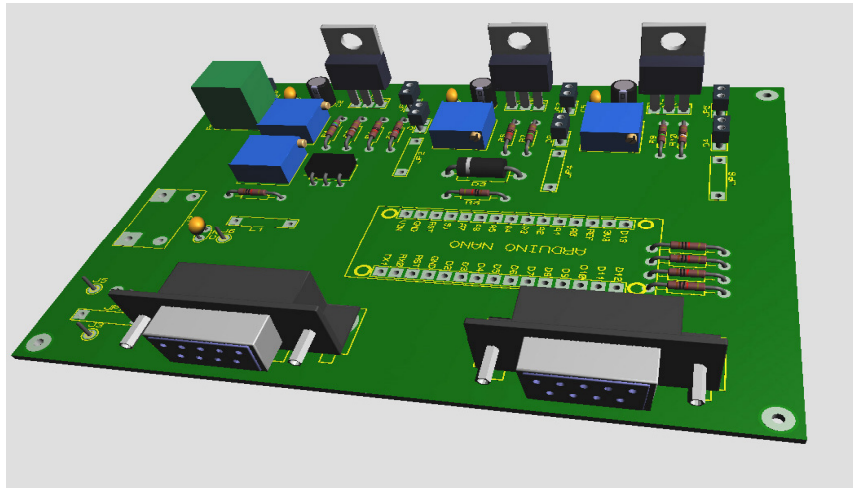


FIGURA 26 - Simulação da PCI (Proteus 8)

E o resultado após o processo de termotransferência e corrosão química com cloreto de ferro (FeCl_3) mostrado na figura 27.

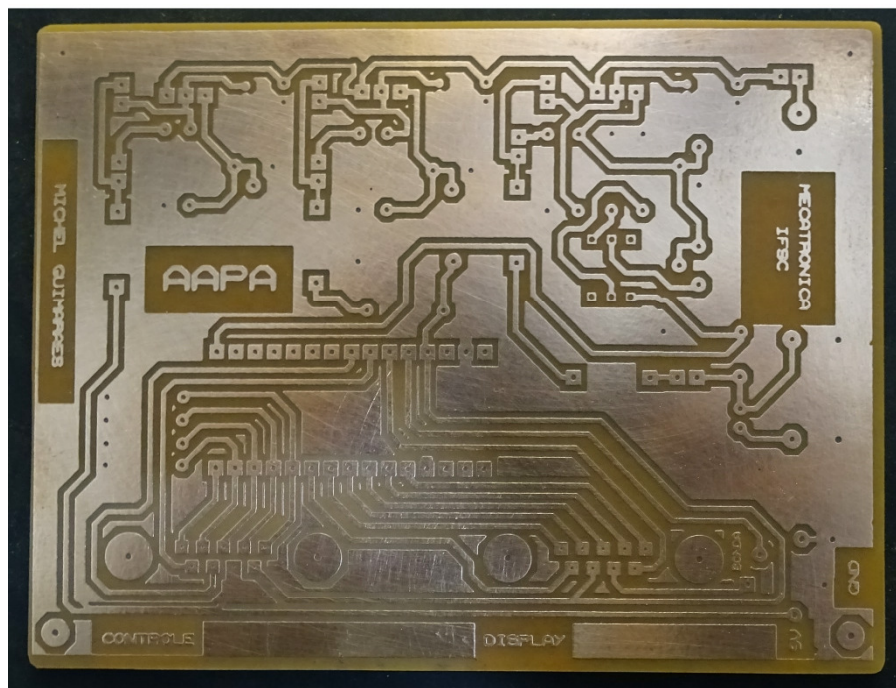


FIGURA 27 - PCI obtida (acervo pessoal)

Com a placa de controle da figura 28 montada, o projeto eletrônico foi concluído.

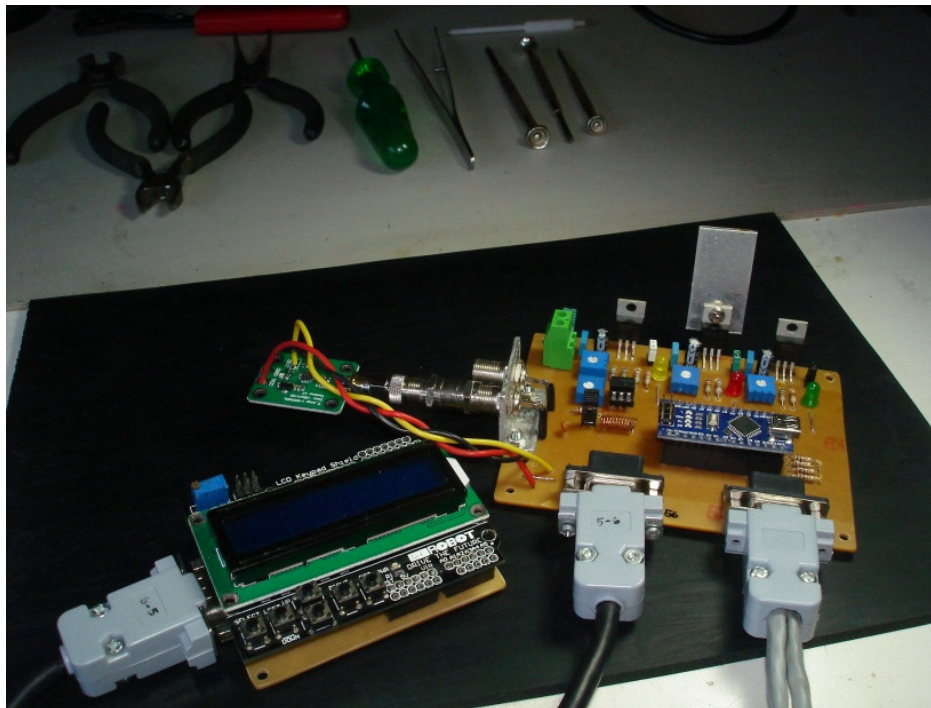


FIGURA 28 - Controle eletrônico (acervo pessoal)

Todos os circuitos foram testados previamente em uma matriz de contatos, antes da montagem final na placa de circuito impresso desenvolvida.

A tabela 2 fornece a lista de componentes necessários para a montagem do controle.

7 Capacitors		
Quantity	References	Value
3	C1,C3,C5	100n
3	C2,C4,C6	1u
1	C7	39p
14 Resistors		
Quantity	References	Value
2	R1,R6	120
1	R2	820
1	R3	18
1	R4	56
5	R5,R11-R14	10k
2	R7,R9	150
1	R8	15

1	R10	390
3	RV1,RV3-RV4	2K
1	RV2	5K
4 Integrated Circuits		
<u>Quantity</u>	<u>References</u>	<u>Value</u>
3	U1,U3-U4	LM338
1	U2	TIL111
4 Diodes		
<u>Quantity</u>	<u>References</u>	<u>Value</u>
3	D1-D2,D4	LED
1	D3	BZX79-B/C5V1
22 Miscellaneous		
<u>Quantity</u>	<u>References</u>	<u>Value</u>
1	IC1	ARDUINO NANO
2	J1-J2	CONECTOR DB9
1	J7	BNCX2
1	L1	1mH
1	POWER IN	BORNE 2 VIAS

TABELA 2 - Lista de Componentes (Proteus 8)

3.3 PROGRAMAÇÃO

Para realizar o controle de todo sistema, o desenvolvimento de um código de programação se fez imprescindível, exigindo conhecimento dos recursos disponíveis no hardware, o estudo detalhado do circuito desenvolvido e atenção em tornar o programa o mais otimizado possível evitando conflitos ou lentidão na execução das rotinas. A elaboração de um algoritmo nestes casos faz-se necessária para elaborar uma lógica eficiente e objetiva.

O fluxograma desenvolvido esta disponíveis no ANEXO E. O código comentado elaborado em linguagem C, será fornecido juntamente da versão digital desta obra.

3.4 FUNCIONAMENTO

O funcionamento básico, conforme proposto, é bem simples. Consiste na entrada de dados através da IHM utilizando uma lista disponibilizada após a inicialização do dispositivo.

Inicialmente, para abreviar o desenvolvimento do código, foram disponibilizados apenas quatro satélites para seleção (StarOneC2/C4, Amazonas, Intelsat 11 e Intelsat 21), porém a lista pode ser facilmente ampliada com futuras atualizações do firmware original.

Para flexibilizar e permitir alternativas para usuários mais avançados, foi disponibilizada uma opção de ajuste manual no menu, a qual permite o controle de azimute e inclinação do conjunto através dos botões direcionais do teclado operador da IHM. As telas de opções podem ser visualizadas na figura 29.

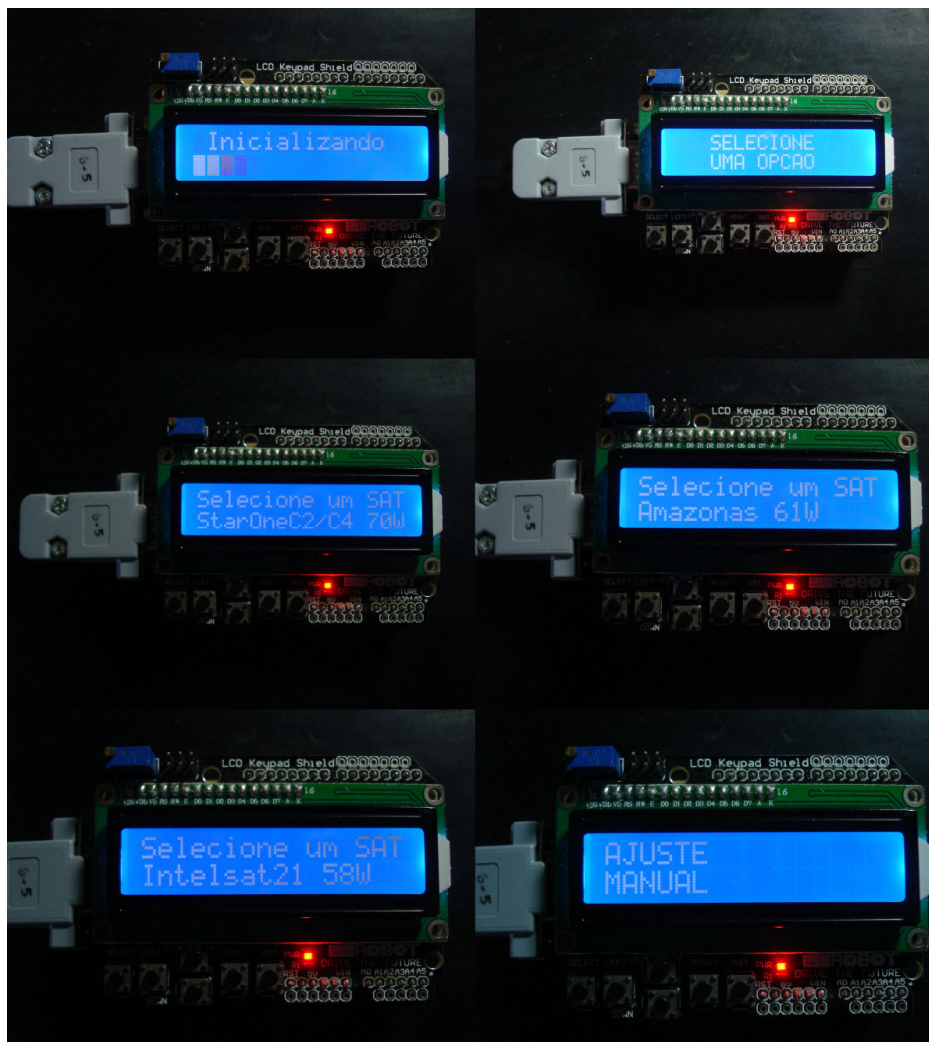


FIGURA 29 – Telas de seleção da IHM (Acervo Pessoal)

Quando é selecionada uma opção do ajuste automático, o micro controlador Atmel Mega 328P realiza um nivelamento da inclinação do mecanismo, para posicionar a bussola da forma

mais plana possível, em seguida faz a leitura da porta analógica 4 conectada através do protocolo I2C com a bússola AK8975, instalada sobre o LNBF de recepção, e compara o posicionamento atual do azimute do conjunto com o azimute necessário para o apontamento do satélite selecionado. Com os dados obtidos o controle realiza comparações das coordenadas e desloca o azimute do mecanismo até que atinja o apontamento necessário.

Ao alcançar o ponto de azimute, o sistema inicia o ajuste de inclinação, fazendo uma varredura de toda a amplitude de inclinação, desde o ponto mais baixo até o ponto mais elevado, realizando a leitura a partir do pino analógico 7 ligado ao detector de RF AD8318, armazenando a posição com maior nível de sinal obtido e descartando o nível mais baixo anteriormente armazenado. Ao final da varredura o ponto ótimo de apontamento estará definido e o mecanismo retornará à esta coordenada para realizar um ajuste fino de apontamento.

O ajuste fino consiste em deslocar o mecanismo no eixo azimute 10 graus para a direita e 10 graus para a esquerda realizando o mesmo armazenamento de níveis utilizado para o ajuste de inclinação e ao final repetir o processo de fixar o posicionamento sobre o ponto com nível de recepção de sinais mais levado. Assim o dispositivo estará apontado para o satélite escolhido e pronto para ser conectado ao aparelho responsável pela recepção do enlace desejado.

O diagrama de ligação dos conjunto controle pode ser visualizado na figura 30.

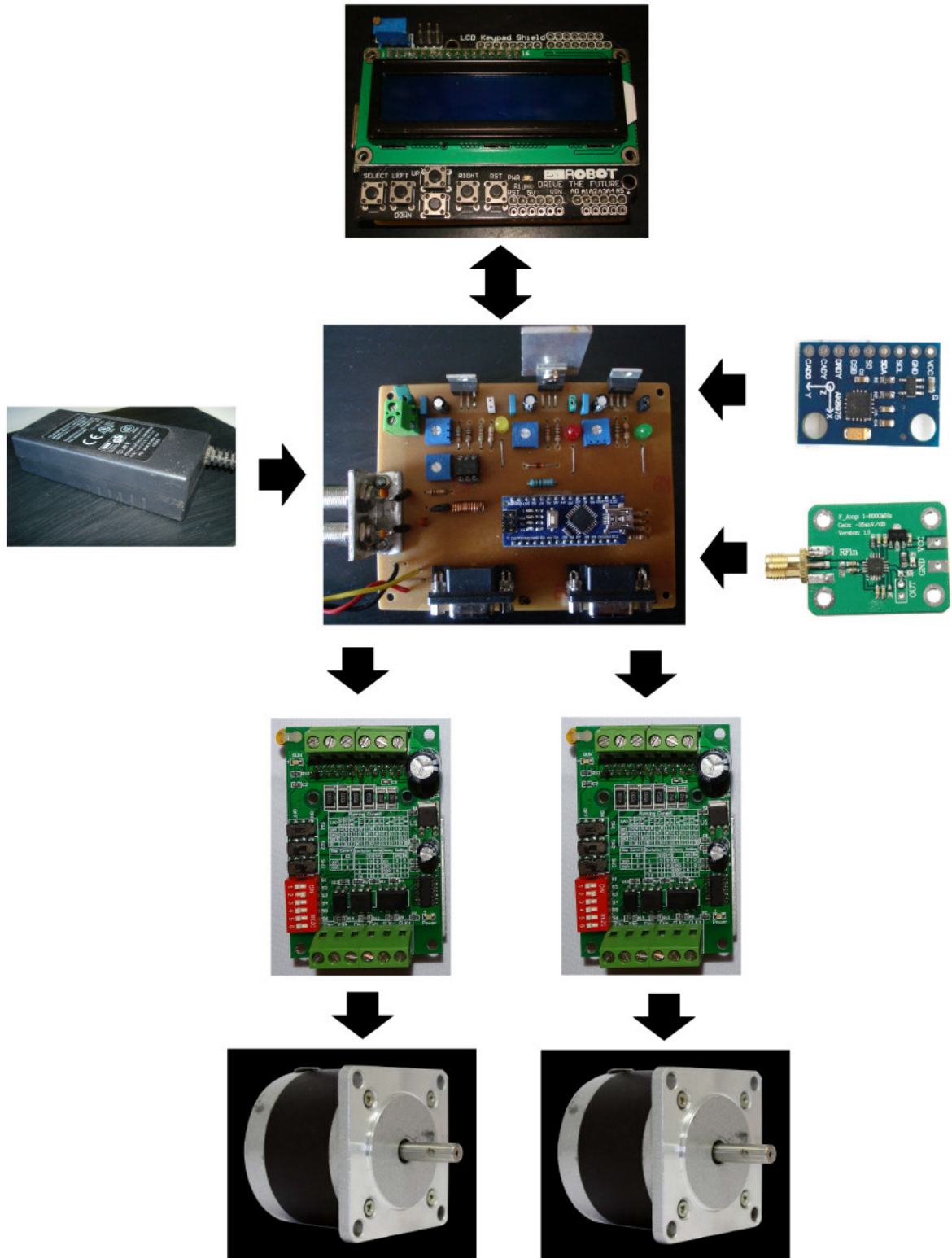


FIGURA 30 – Diagrama de interligação do sistema de controle (Acervo Pessoal)

3.5 TESTES REALIZADOS

Como elementos de apoio para a calibração e testes do dispositivo final, foram utilizados um multímetro marca Minipa modelo ET-2082C mostrado na figura 31 e um localizador de sinais via satélite marca SATLINK modelo WS-6906 mostrado na figura 32.

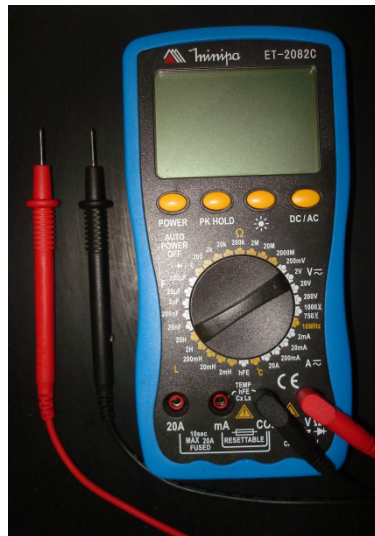


FIGURA 31 - Multímetro Minipa ET-2082C (Acervo Pessoal)



FIGURA 32 - SATLINK WS-6906 (Acervo Pessoal)

Inicialmente como dispositivo de leitura de posição de azimute foi adotada uma bússola baseada no CI HMC5883, o qual mostrou-se não apropriado para a aplicação devido sua excessiva sensibilidade, sofrendo interferência magnética até mesmo dos componentes mecânicos do próprio protótipo, apresentando em alguns casos erros de até 90° na coordenada de apontamento, provocando distorções nas leituras das coordenadas de posicionamento da antena.

Como alternativa foi adotada a bússola AK8975 que após diversas simulações, inclusive em ambientes indoor, mostrou-se estável e apresentou leituras confiáveis para a aplicação proposta. Em alguns testes o dispositivo apresentou pequenas distorções na leitura quando o equipamento estava posicionado em ambiente cercado de excessivas estruturas metálicas e/ou fontes de radiação eletromagnéticas como transformadores de alta tensão, visto que não é aconselhável a instalação de sistemas de recepção via satélite em locais com as citadas interferências são aceitáveis as distorções apresentadas e indicado não instalar o equipamento em ambientes com estas características. Após as adaptações necessárias para a fixações da bússola AK8975 na extremidade do LNB, os testes apresentaram excelente resposta obtendo uma precisão com desvio em média de 0,5° em relação às coordenadas obtidas através de uma bússola magnética convencional comumente adotada para o referido ajuste.

Para a medição de sinais de RF captados pelo LNB inicialmente fez-se a utilização de um CI LTC5508 que foi adquirido para montagem em placa de circuito impresso montada de forma artesanal, porém o uso de componentes PTH mostrou-se ineficiente devido às dimensões necessárias para a montagem de tais componentes, provocando uma baixa relação sinal ruído, na ordem de 10 dBm, gerando interferência nas leituras e impossibilitando o uso do componente na aplicação proposta. Testes futuros com uma placa montada com a uso de componentes SMD, possibilitando a redução das dimensões das trilhas do circuito e a distância entre os componentes, aliados a implementação de filtros de banda e transformadores de impedância poderão viabilizar o uso do componente para tal aplicação.

Como alternativa foi adotado o medidor logaritmo de sinais de rádio frequência AD8318, escolhido por já possuir circuito comercial disponível, pelo custo de U\$ 11,81 e pela larga faixa de medição que compreende de 1MHz até 8GHz permitindo seu uso em diversos circuitos de RF.

Conforme mostrado no datasheet do mesmo, quando configurado em modo de medição tem a característica de fornecer como resposta em sua saída uma tensão DC que varia de 0 a 2,2 Vcc numa relação inversa com a variação do nível de sinal de entrada que estejam entre -65 dBm e 15 dBm. A resposta na saída é de aproximadamente 24,4 mV/dB, dependendo da temperatura do dispositivo no instante da medição. Nos testes realizados, o detector AD8318 mostrou resposta satisfatória conforme proposto na sua folha de dados, para uma frequência na faixa de 1.9 GHz, que corresponde à faixa entregue pelo LNB ao receptor.

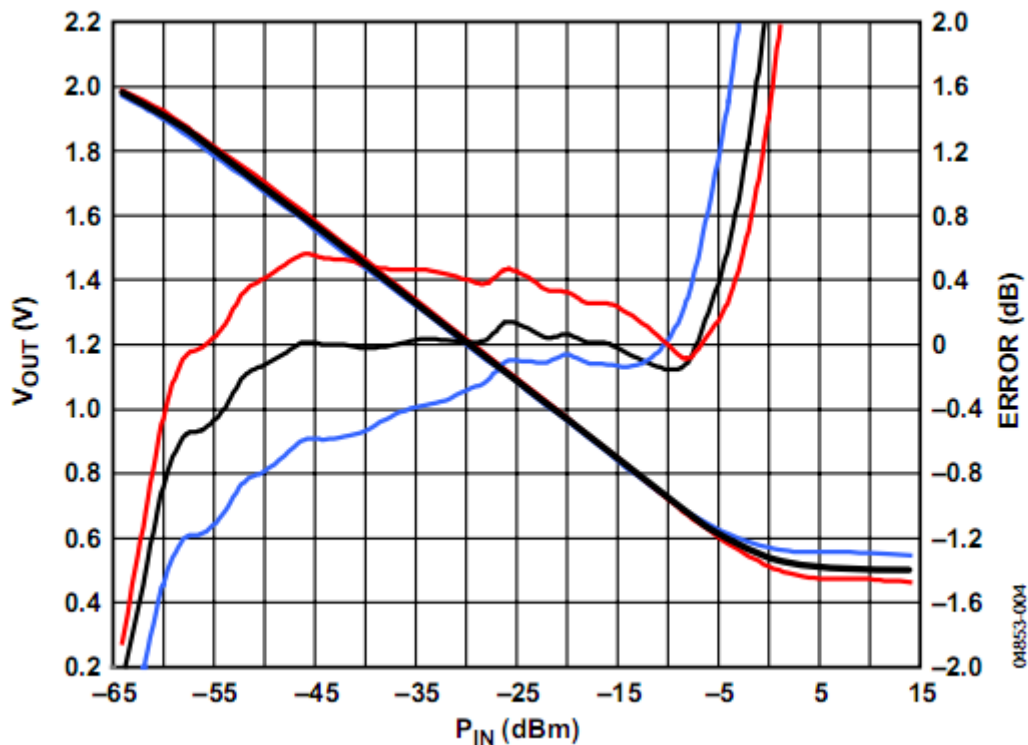


FIGURA 33 - Inclinação de saída no modo de medição (datasheet AD8318)

Nos testes realizados, para um nível de entrada de aproximadamente -35 dBm a resposta obtida na saída do AD8318 foi de 1,26 Vcc, nível dentro do aceitável, considerando as condições ambientais no local dos testes.

O teste conclusivo aqui demonstrado, foi realizado ao ar livre à uma temperatura de aproximadamente 25° C, devido às peculiaridades envolvidas no projeto e a necessidade de

recepção adequada de sinal via satélite. O enlace escolhido para os testes foi do satélite Amazonas 61W, devido a disponibilidade de canais FTA (Free To Air ou livre no ar - aberto e sem necessidade de decodificação), no entanto testes posteriores realizados obtiveram sucesso com enlaces envolvendo os satélites StarOneC2/C4, Intelsat11 e Intelsat21 e em condições climáticas e ambientais diversas, como nevoeiro e céu nublado com temperaturas que variaram entre 12° e 28°.

Para o teste conclusivo, mostrado na figura 34, inicialmente o protótipo foi posicionado de forma aleatória forçando um alinhamento totalmente fora do quadrante correspondente ao posicionamento do cinturão de satélites geoestacionários disponíveis no Brasil.

Foi realizado o nivelamento da base, pois a mesma apresentou instabilidade ao manter o driver do motor de azimute desabilitado durante os testes, mostrando uma falha no projeto que poderá ser corrigido implementando um sistema de frenagem para o deslocamento de azimute ou modificando a automação, deixando de adotar um barramento único para os sinais de controle dos drivers, possibilitando que o sinal de habilitado do motor de azimute permaneça ativo quando o sistema de inclinação estiver sendo operado provocando o travamento do movimento de azimute quando o driver estiver habilitado mas sem variações no sinal de clock.



FIGURA 34 - Montagem do teste (Acervo Pessoal)

Ao inicializar o sistema, o display informa a necessidade de selecionar uma opção (figura 35) entre os satélites StarOneC2/C4, Amazonas, Intelsat11, Intelsat21 ou MANUAL. No modo MANUAL é possível realizar o controle do dispositivo manualmente através dos botões do teclado operador.



FIGURA 35 - Tela de opção do display (Acervo Pessoal)

Conforme relatado inicialmente, foi selecionado o enlace do satélite Amazonas 61W, imediatamente o controle realiza o nivelamento do mecanismo de inclinação posicionando a bússola AK8975 fixada na ponta do LNB de forma que o eixo X e Y fique paralelo ao horizonte.

Após este alinhamento o mecanismo de azimute é acionado e através da leitura das coordenadas lidas pela bússola no momento, o controle desloca o conjunto até que a leitura na bússola mostre-se igual a coordenada necessária para o alinhamento do satélite selecionado (figura 36).



FIGURA 36 - Satélite Amazonas 61W selecionado (Acervo Pessoal)

Ao atingir a posição, o mecanismo de azimute é desabilitado e entra em ação o mecanismo de inclinação deslocando a antena até o fim de curso no ponto mais baixo possível de inclinação. Após atingir o sensor de fim de curso, o controle inverte o movimento e inicia a rotina de controle de posicionamento e de medição do nível de sinal (figura 37), armazenando o ponto

onde a leitura obtida é mais elevada e a posição respectiva.

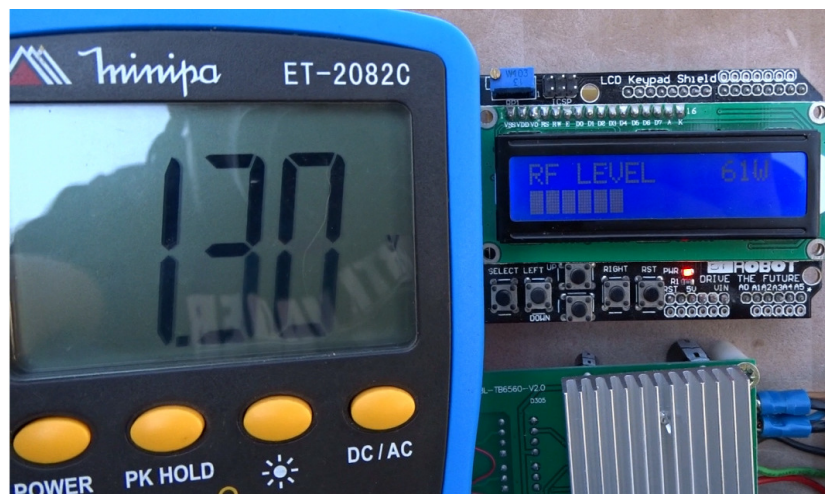


FIGURA 37 - Tela durante a tomada de sinais (Acervo Pessoal)

Quando o limite de inclinação for atingido, o controle verifica onde ocorreu a leitura com maior nível de sinal (figura 38) e retorna para a posição correspondente, exibindo no display o maior nível de sinal obtido (figura 39).

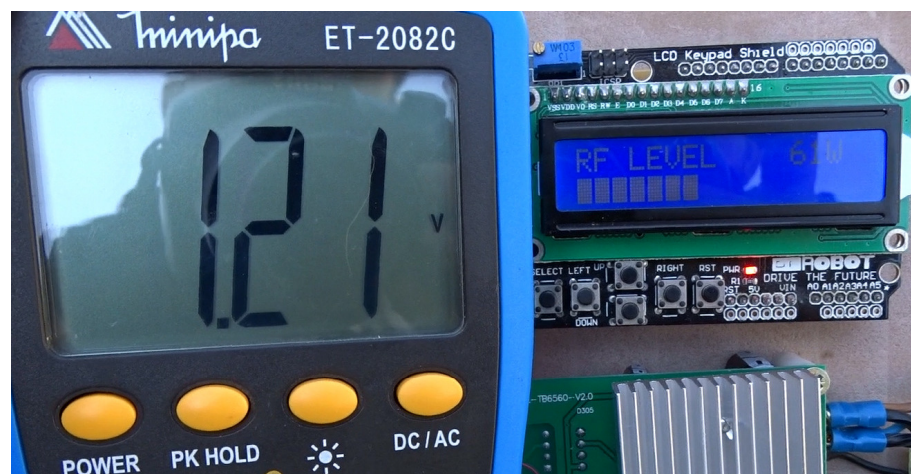


FIGURA 38 - Medição com maior nível (Acervo Pessoal)

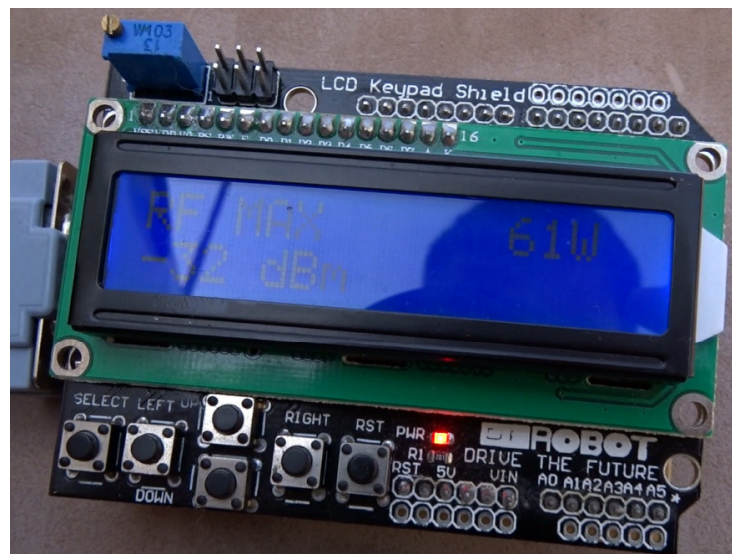


FIGURA 39 - Tela mostrando maior nível de medição (Acervo Pessoal)

Quando a posição "ótima" for atingida, o mecanismo volta a ativar o sistema de ajuste de azimute e realiza uma varredura de 10 graus para a direita e para a esquerda monitorando o sinal e realizando o ajuste fino do apontamento, finalizando o movimento e posicionando o conjunto no ponto de maior nível de sinal medido, retornando a mensagem de apontamento concluído no display da IHM 9 (figura 40).



FIGURA 40 - Tela de apontamento Concluído (Acervo Pessoal)

Caso o operador deseje realizar um novo apontamento é possível realiza-lo sem a necessidade de reiniciar o dispositivo, bastando apenas pressionar a tecla SELECT da IHM para retornar ao menu inicial.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

O mecanismo desenvolvido apresentou o desempenho esperado, porém necessita de melhorias principalmente no conjunto que compõe o ajuste de azimute da antena, que apresentou alguns travamentos durante os testes quando colocado em superfícies em desnível, problema corrigido com ação de contorno colocando calços e forçando o nivelamento de forma mecânica. Como solução definitiva é aconselhado substituir o motor de passo NEMA 23 com 4,6 Kgf de torque, por um motor de mesma dimensão, mas com torque mais elevado. Testes realizados utilizando um motor com 19 Kgf apresentou resposta satisfatória para a solução do problema mecânico encontrado.

O controle mostrou-se capaz de desempenhar o trabalho e atender as expectativas, realizando o monitoramento dos sensores envolvidos e entregando em sua saída os comandos necessários para obter o alinhamento proposto provando que a plataforma Arduino mostra-se eficaz para a automatização do sistema desde que programada de forma otimizada. Mesmo quando testado em condições não favoráveis, como em nevoeiro e alto índice de umidade relativa do ar, o apontador realizou o fechamento do link com sucesso.

A simplicidade do sistema eletrônico empregado colaborou com a eficiência do projeto, evitando complexos circuitos adotados por dispositivos comerciais semelhantes e obtendo resposta muito favorável em relação a custos de produções e resultados de operação.

4.2 MELHORIAS PROPOSTAS

Para tornar o dispositivo plenamente funcional e possibilitar sua aplicação para fins comerciais, é necessário a implementação de um terceiro grau de liberdade no mecanismo, possibilitando o ajuste de angulação do LNB chamado popularmente como skil, possibilitando o apontamento para satélites que possuam características distintas dos escolhidos para os testes. Tal melhoria pode ser implementada de forma simples no controle,

com apenas algumas alterações no código e uma reestruturação do circuito eletrônico, no entanto necessitaria de um redimensionamento do mecanismo, devido ao aumento de peso do feedhorn na extremidade da antena.

Como citado na página 49, faz-se necessário a implementação de um sistema de frenagem para o mecanismo de azimute, evitando seu desalinhamento após o apontamento. A adoção de um fuso de esferas recirculantes para o ajuste do mecanismo de inclinação é indicado, trazendo uma maior precisão e redução de ruído durante a operação do conjunto.

Também poderá ser desenvolvido um sistema de comunicação via bluetooth para realizar o controle do sistema através de aplicativo de um smartphone, proposta em fase de implementação e não totalmente operacional.

É possível obter uma redução ainda maior nos custos de produção, utilizando métodos de fabricação mecânica mais eficientes como produção de peças por fundição e/ou injeção de polímeros e o desenvolvimento de placas totalmente dedicadas em substituição aos circuitos comerciais utilizados para o desenvolvimento do protótipo.

5 CONCLUSÕES

O dispositivo proposto mostrou-se factível, realizando a proposta de forma eficiente e com aceitável precisão, provando ser possível a automatização do processo, de forma relativamente simples e com um custo reduzido para a produção do protótipo de aproximadamente U\$ 400,00, além de fornecer uma interface amigável e objetiva para a operação tanto para usuários experientes, quanto para leigos.

Comparado aos dispositivos disponíveis no mercado que excluindo taxas de importação e impostos não custam menos de U\$ 2000,00 e de complexa operação em alguns casos, o dispositivo apresenta elevado potencial de aperfeiçoamento e produção comercial para as aplicações inicialmente propostas.

Além da vantagem econômica de produção, o equipamento conseguiu realizar um apontamento de enlace de banda KU, com uma antena de 60 cm de diâmetro, apontado inicialmente de forma totalmente oposta à coordenada desejada, em condições atmosféricas desfavoráveis com nevoeiro e alto índice de umidade relativa do ar de 83% em aproximadamente 11 minutos, obtendo o maior nível de sinal do downlink captado. Tal apontamento, quando realizado por profissional experiente, de forma manual pode demorar até 40 minutos, o que aponta um ganho de qualidade e produtividade do trabalho.

Em casos de uso por usuários leigos o ganho pode se tornar imensurável, pois, em casos de ambientes desfavoráveis como os citados no parágrafo anterior, tal apontamento poderá se tornar inviável devido às especificidades das condições de captação de sinal e das ferramentas necessárias para o sucesso da atividade.

O desenvolvimento do projeto tornou possível provar a eficiência dos dispositivos empregados, o aprimoramento do uso da instrumentação necessária e a aplicação dos conhecimentos adquiridos no curso superior em tecnologia mecatrônica, fornecendo um aperfeiçoamento prático da teoria abordada durante a graduação.

Permitiu o contato mais profundo com o desenvolvimento de um trabalho acadêmico e provou a importância de realizar o planejamento e estudo dos recursos necessários para a

produção de um projeto tecnológico, objetivo principal dos cursos de tecnologia, que devem focar seus trabalhos no desenvolvimento de pesquisa aplicada, obtendo principalmente recursos que possibilitem a melhoria tecnológica existente e não somente pesquisas de base científica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Mattos, Guilherme Marques (2006). **Redes de Acesso em Banda Larga utilizando Sistemas VSAT e WiFi** (dissertação de mestrado). PUC-RJ.

Intelsat. **VSAT handbook**. 1998.

ARDUINO.CC. Site Oficial do Desenvolvedor. Disponível em:
<<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em 27 mai. 2018.

I2C-Bus. Site Oficial do Desenvolvedor. Disponível em:
<<https://www.i2c-bus.org/>>. Acesso em 27 mai. 2018.

AsahiKasei. **3-axis Electronic Compass datasheet**. Disponível em:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/535563/AKM/AK8975C.html>>. Acesso em 30 mai. 2018.

TOSHIBA. **PWM Chopper-Type Bipolar Driver IC for Stepping Motor Control datasheet**. Disponível em:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-f/view/548480/TOSHIBA/TB6560AFG.html>>.
Acesso em: 30 mai. 2018.

KALATEC AUTOMAÇÃO. Site. Disponível em:
<<http://www.kalatec.com.br/definicao-de-motor-de-passo/>>. Acesso em 07 jun. 2018.

ANALOGDEVICES. **1 MHz – 8 GHz, 60 dB Logarithmic Detector/Controller AD8318 datasheet**. Disponível em:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/106299/AD/AD8318.html>>.
Acesso em 31 mai. 2018.

ASTRA2. **TV & Radio in the UK & Overseas**. Site. Disponível em:
<<http://www.astra2sat.com/technical/lbn-low-noise-block/>>.
Acesso em 31 mai. 2018.

Barbi, Ivo. **Eletrônica de Potência: Projeto de Fontes Chaveadas**, Ed. do Autor. Florianópolis, SC. Pag. 1.

Provenza, Engº Ind. Mec. Francesco (1990). **PROTEC: Projetista de Máquinas**, 71ª Edição.

Texas Instruments. **LM138/LM338 5-Amp Adjustable Regulators datasheet**. Disponível em:

<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/520537/TI1/LM338T.html>>

Acesso em 22 fev. 2018.

Boylestad, Robert L. & Nashelsky, Louis (2004). **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, 8ª Edição. Pag.66

ANEXO A – Cálculos dos parâmetros de Usinagem

$$Vc = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} \Rightarrow n = \frac{Vc \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

Onde: Vc = velocidade de corte [m/min]
 n = rotação da ferramenta [rpm]
 D = diâmetro da ferramenta [mm]
 fz = avanço por dente [mm/dente]
 vf = avanço da mesa [mm/min]

$$fz = \frac{vf}{z \cdot n} \Rightarrow Vf = fz \cdot z \cdot n$$

$$Ap \leq 1,5 \cdot D$$

Fonte: (PROTEC, 1990)

Cálculo para usinagem do alumínio no fresamento:

Para o faceamento:

Ferramenta utilizada – Fresa de topo reto HSS 25mm com 4 dentes.

Condições recomendadas para fresas HSS*: $n = 1000$ rpm, $Vc = 140 \sim 180$ m/min, $fz = 0,095$ mm/dente,
 $Vf = 355$ mm/min, $Ap \leq 1,5D$.

*Fonte: <https://internacionalferramentas.com.br/fornecedores/osg/osg_fresas_hss.pdf>

$$n = \frac{160 \cdot 1000}{\pi \cdot 25} = 2037 \approx 2000 \text{ rpm}$$

$$Vf = 0,095 \cdot 4 \cdot 2000 = 760 \text{ mm/min}$$

$$Ap = 2,5 \text{ mm (para evitar o desgaste excessivo da ferramenta).}$$

Foram adotados para o processo de usinagem os valores calculados.

Para o desbaste:

Ferramenta utilizada – Fresa de topo reto HSS 16mm com 4 dentes.

Condições recomendadas para fresas HSS*: $n = 1600$ rpm, $Vc = 140 \sim 180$ m/min, $fz = 0,095$ mm/dente,

$V_f = 450 \text{ mm/min}$, $A_p \leq 1,5D$.

*Fonte: <https://internacionalferramentas.com.br/fornecedores/osg/osg_fresas_hss.pdf>

$$n = \frac{160 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} = 3183 \approx 3100 \text{ rpm}$$

$$V_f = 0,095 \cdot 4 \cdot 3100 = 1178 \approx 1100 \text{ mm/min}$$

$$A_p = 2,5 \text{ mm}$$

Deixado sobremetal de 0,5 mm.

Foram adotados para o processo de usinagem os valores calculados.

Para o acabamento:

Ferramenta utilizada – Fresa de topo reto HSS 4mm com 2 dentes.

Condições recomendadas para fresas HSS: $n = 8000 \text{ rpm}$, $V_c = 80 \sim 120 \text{ m/min}$, $f_z = 0,033 \text{ mm/dente}$,*

$V_f = 530 \text{ mm/min}$, $A_p \leq 0,5D$.

*Fonte: <https://internacionalferramentas.com.br/fornecedores/osg/osg_fresas_hss.pdf>

$$n = \frac{100 \cdot 1000}{\pi \cdot 4} = 7957 \approx 7000 \text{ rpm (limite do centro de usinagem 7500 rpm)}$$

$$V_f = 0,033 \cdot 2 \cdot 7000 = 462 \approx 450 \text{ mm/min}$$

$$A_p = 0,25 \text{ mm}$$

Foram adotados para o processo de usinagem os valores calculados.

Para o acabamento:

Ferramenta utilizada – Fresa de topo reto HSS 8 mm com 4 dentes.

Condições recomendadas para fresas HSS*: $n = 6300 \text{ rpm}$, $V_c = 140 \sim 180 \text{ m/min}$, $f_z = 0,048 \text{ mm/dente}$,
 $V_f = 1180 \text{ mm/min}$, $A_p \leq 1,5D$.

*Fonte: <https://internacionalferramentas.com.br/fornecedores/osg/osg_fresas_hss.pdf>

$$n = \frac{160 * 1000}{\pi * 8} = 6366 \approx 6300 \text{ rpm (limite do centro de usinagem 7500 rpm)}$$

$$V_f = 0,048 * 4 * 6300 = 1209 \approx 1200 \text{ mm/min}$$

$$A_p = 0,25 \text{ mm}$$

Foram adotados para o processo de usinagem os valores calculados.

Para os canais

Ferramenta utilizada - Fresa de ponta esférica Metal Duro 2 mm com 2 dentes.

Condições recomendadas * $n = 27070 \text{ rpm}$, $V_c = 1910 \text{ m/min}$, $f_z = 0,044 \text{ mm/dente}$, $V_f = 710 \text{ mm/min}$, $A_p = 0,05 \text{ mm}$.

*Fonte: <http://innovatetech.com.br/pdfs/2-fresa_metal_duro.pdf>

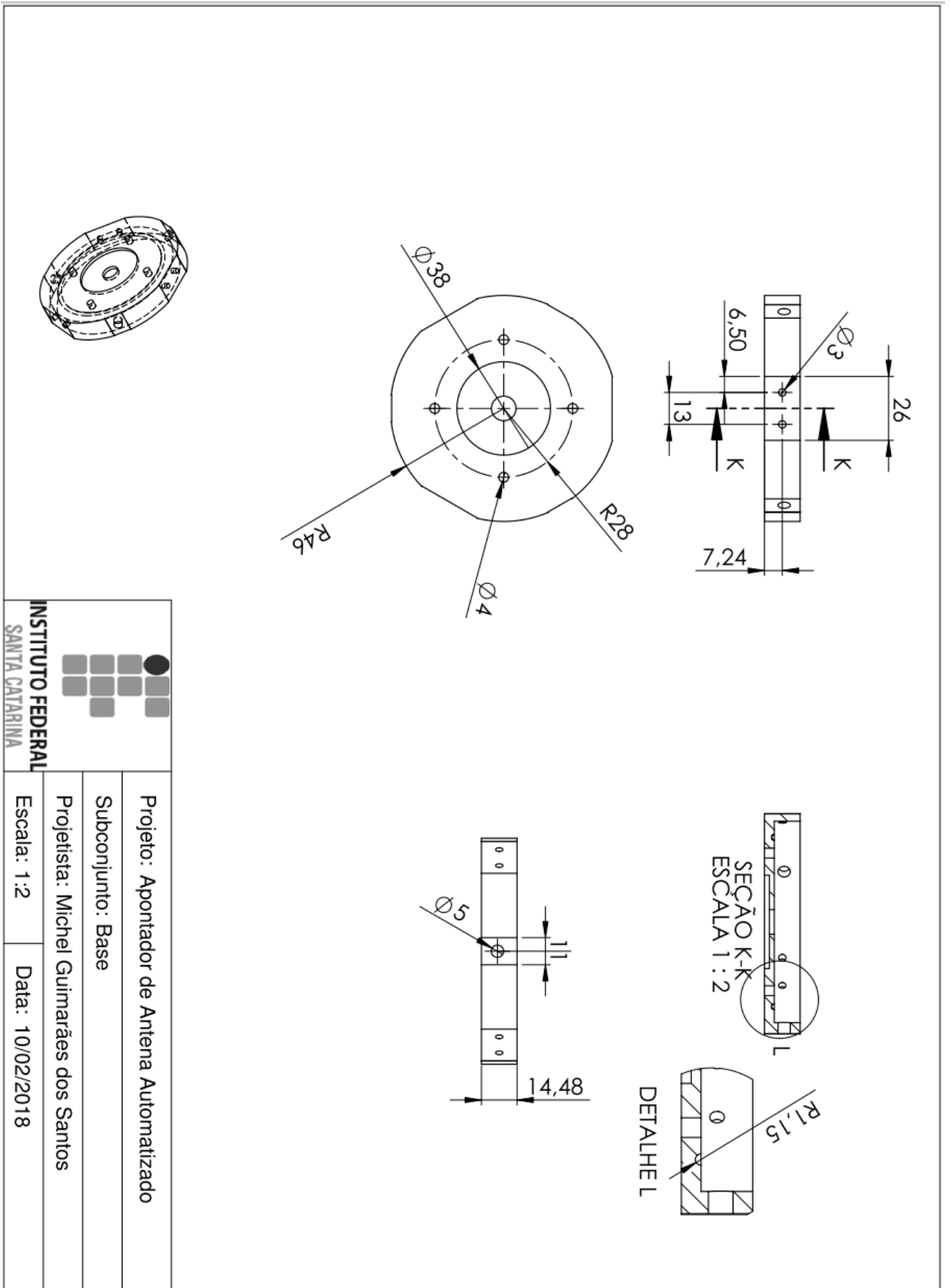
$$n = \frac{1910 * 1000}{\pi * 2} = 303985 \approx 7000 \text{ rpm (limite do centro de usinagem 7500 rpm)}$$


$$V_f = 0,044 * 2 * 7000 = 616 \approx 600 \text{ mm/min}$$

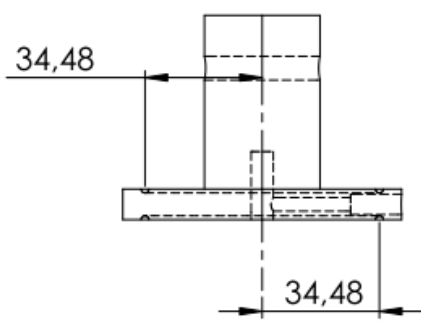
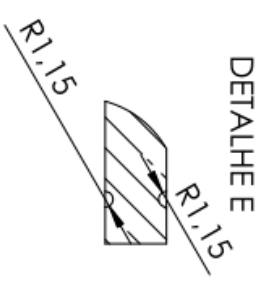
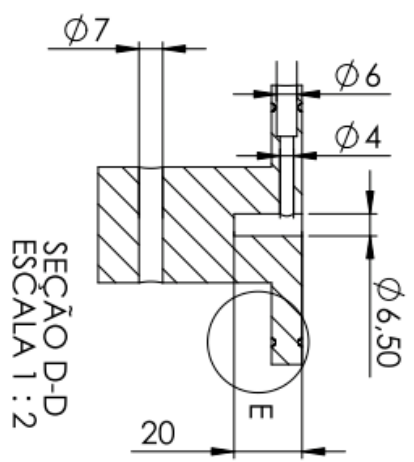
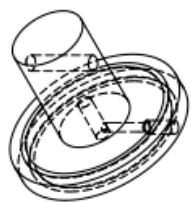
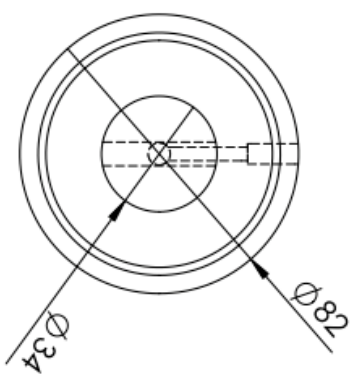
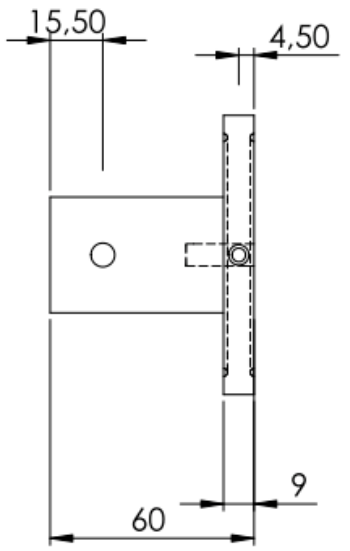
$$A_p = 0,05 \text{ mm}$$

Foram adotados para o processo de usinagem os valores calculados.

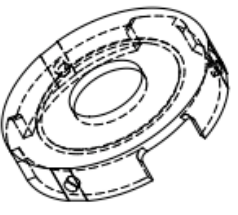
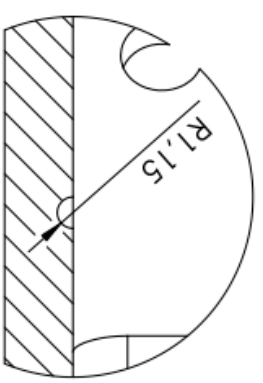
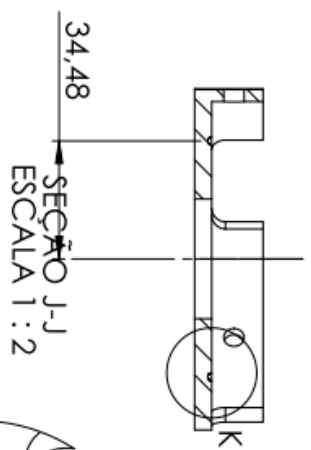
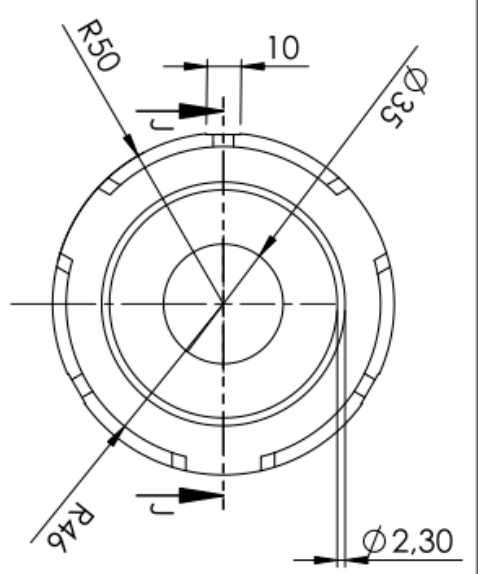
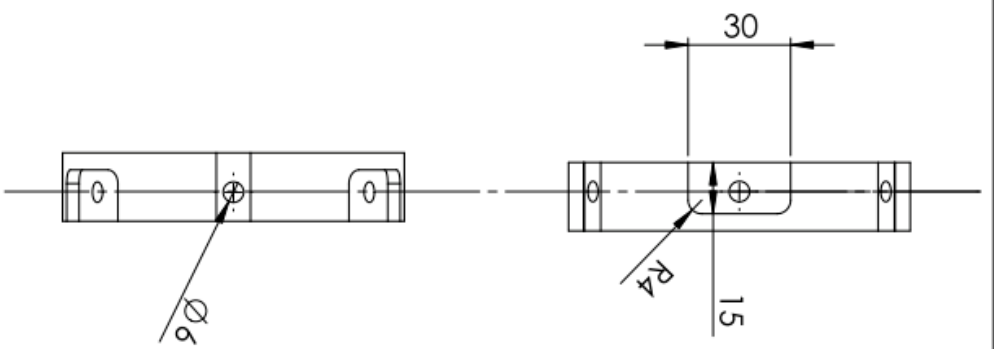
ANEXO B – Vistas projeto mecânico




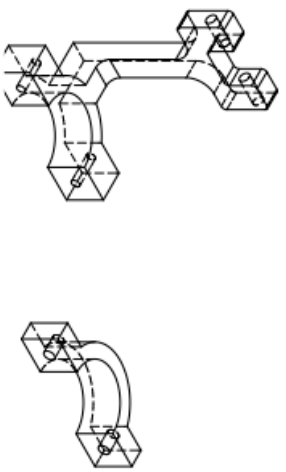
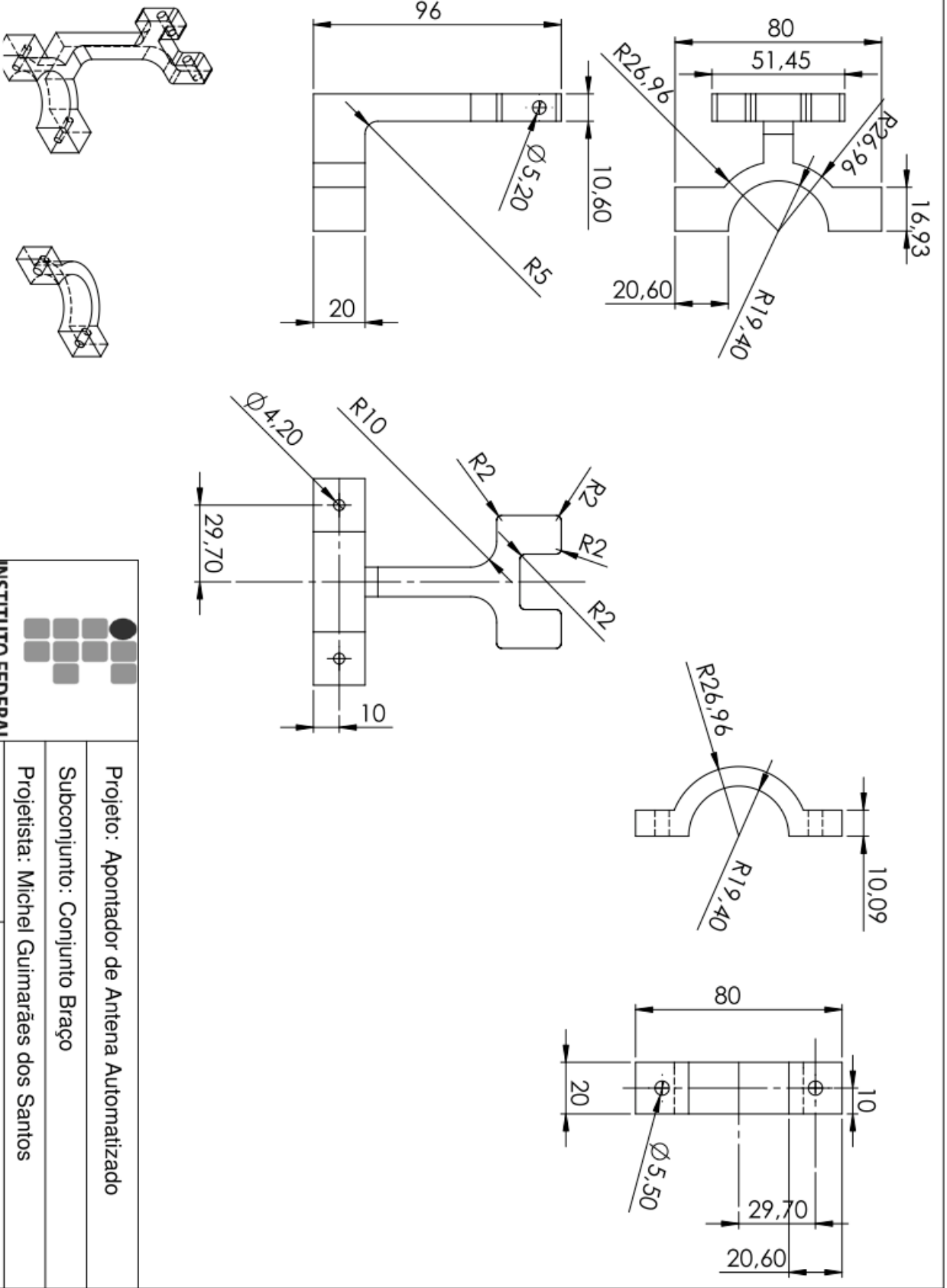
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	
Projeto: Apontador de Antena Automatizado	
Subconjunto: Base	
Projetista: Michel Guimarães dos Santos	
Escala: 1:2	Data: 10/02/2018




Projeto: Apontador de Antena Automatizado
Subconjunto: Torre
Projetista: Michel Guimarães dos Santos
Escala: 1:2
Data: 10/02/2018

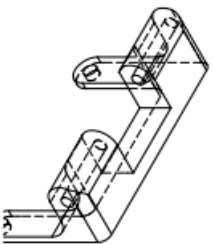
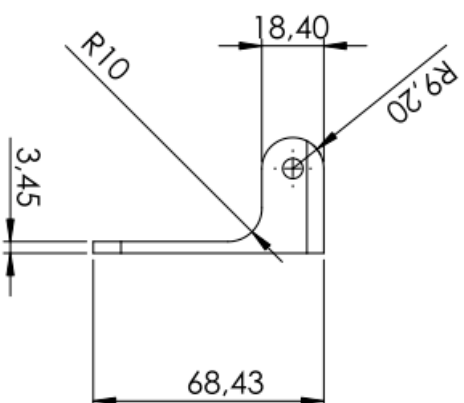
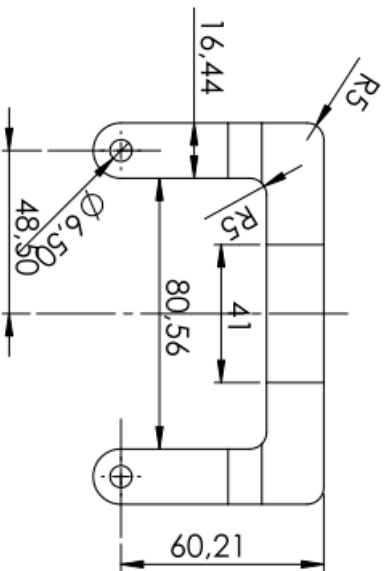
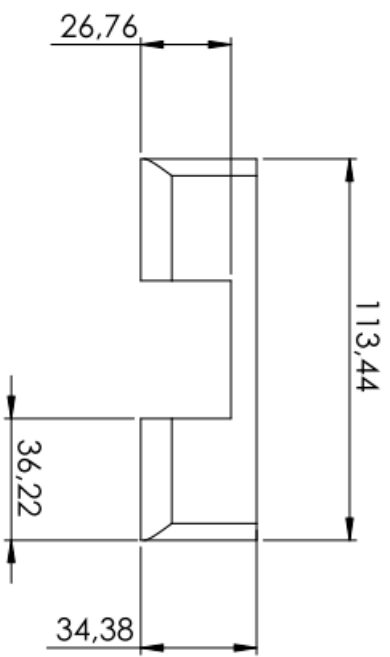


 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	
Projeto: Apontador de Antena Automatizado	
Subconjunto: Tampa	
Projetista: Michel Guimarães dos Santos	
Escala: 1:2	Data: 10/02/2018




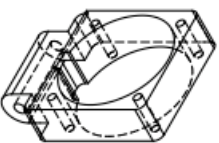
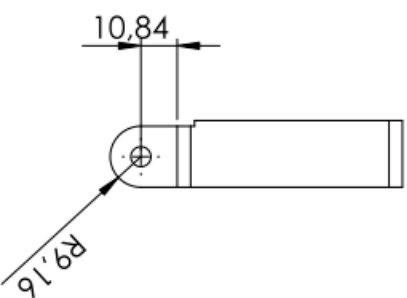
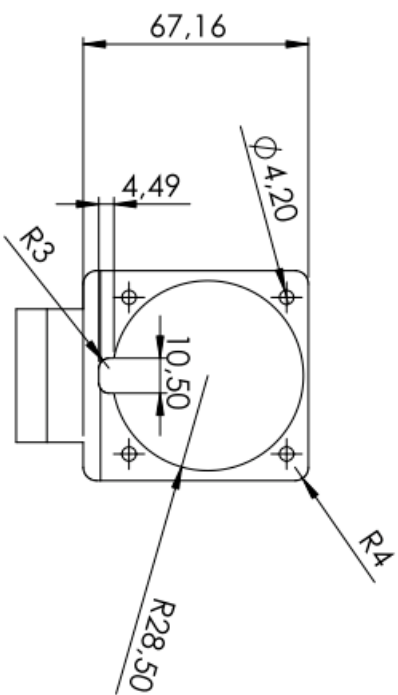
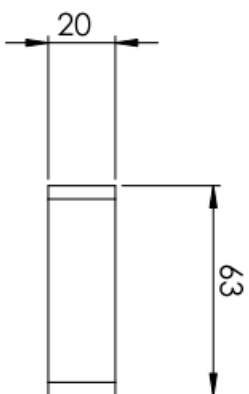
 INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA	
Projeto: Apontador de Antena Automatizado	
Subconjunto: Conjunto Braço	
Projetista: Michel Guimarães dos Santos	
Escala: 1:2	Data: 10/02/2018


SOLIDWORKS Educational License
 Somente uso educacional



SOLIDWORKS Educational License
Somente uso educacional

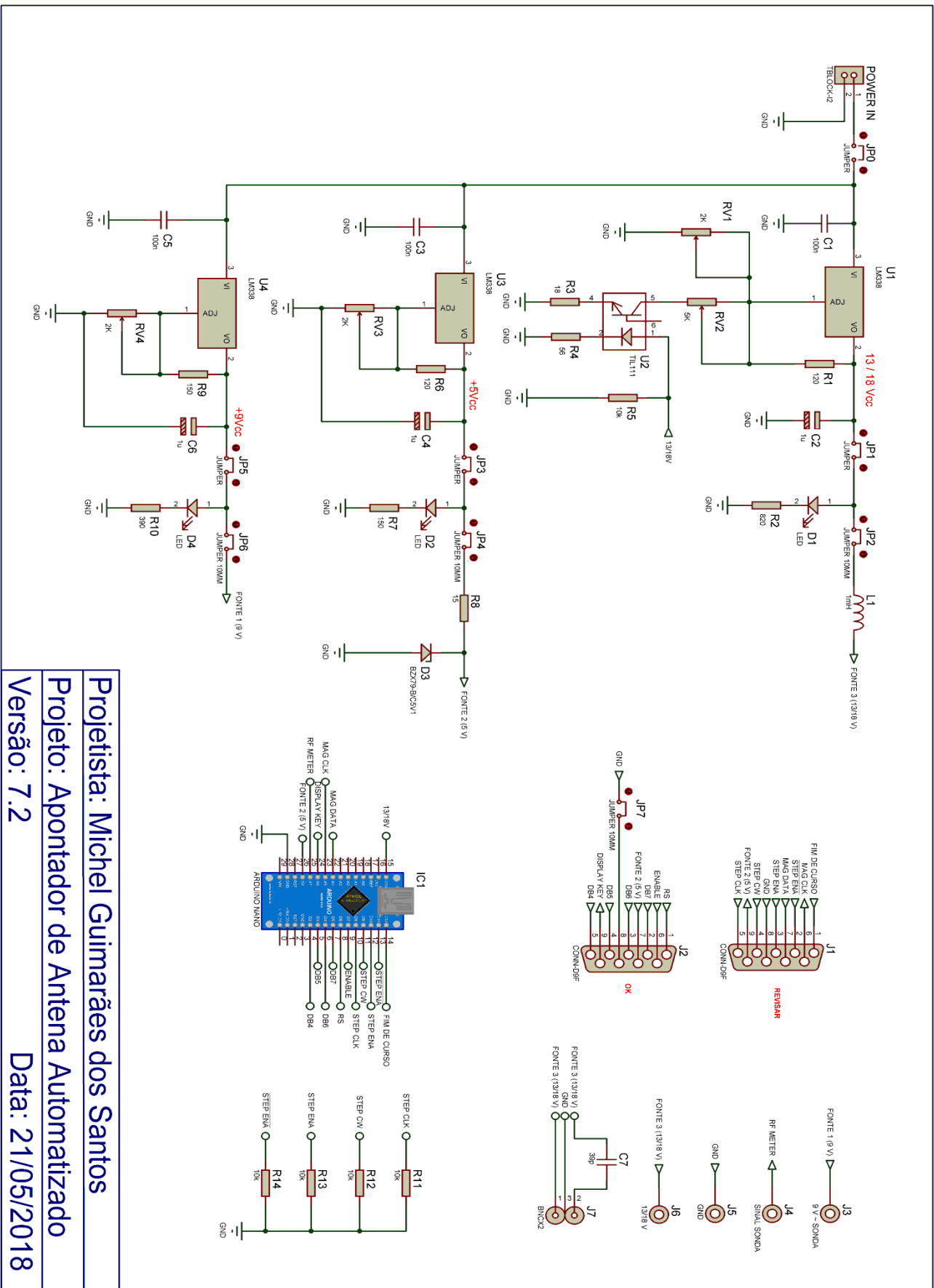
 <p>INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA</p>	
Projeto: Apontador de Antena Automatizado	
Subconjunto: Suporte	
Projetista: Michel Guimarães dos Santos	
Escala: 1:2	Data: 10/02/2018



 INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA		Projeto: Apontador de Antena Automatizado	
		Subconjunto: Case	
		Projetista: Michel Guimarães dos Santos	
Escala: 1:2		Data: 10/02/2018	

SOLIDWORKS Educational License
 Somente uso educacional

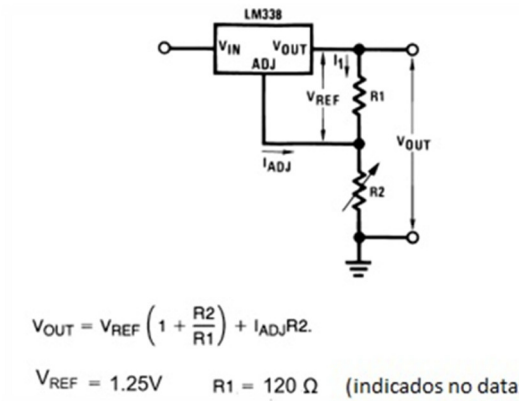
ANEXO C – Diagrama Esquemático



Projetista: Michel Guimarães dos Santos
Projeto: Apontador de Antena Automatizado
Versão: 7.2
Data: 21/05/2018

ANEXO D – Cálculos do Projeto Eletrônico

Cálculos dos circuitos reguladores



Fonte: Datasheet LM338

Circuito regulador de 5 Vcc.

Resistor R2:

$$5 = 1,25 * \left(1 + \left(\frac{R2}{120} \right) \right) + 50\mu * (R2)$$

$$5$$

$$= 1,25 + \frac{1,25R2}{120}$$

$$+ 50\mu R2$$

$$3,75$$

$$= 0,010416R2$$

$$+ 50\mu R2$$

$$3,75 = 10,5m * R2$$

$$R2 = 357 \Omega \quad *Adotado um trimpot de 5K\Omega (disponível), para ajuste fino da fonte.$$

Circuito regulador de 9 Vcc.

Resistor R2:

$$9 = 1,25 * \left(1 + \left(\frac{R2}{120} \right) \right) + 50\mu * (R2)$$

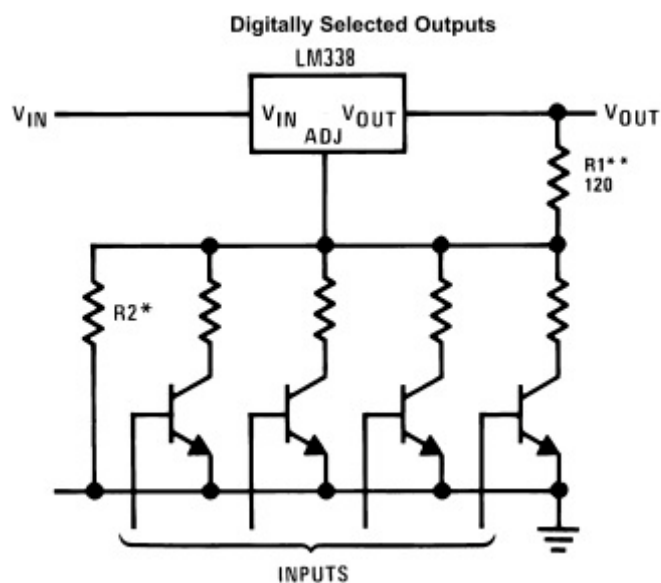
$$9 = 1,25 + \frac{1,25R2}{120} + 50\mu R2$$

$$7,75 = 0,010416R2 + 50\mu R2$$

$$7,75 = 10,5m * R2$$

$R2 = 738 \Omega$ *Adotado um trimpot de $5K\Omega$ (disponível), para ajuste fino da fonte.

Circuito regulador de 13/18 Vcc.



Fonte: datasheet LM338

Resistor R2 para 18 Vcc:

$$18 = 1,25 * \left(1 + \left(\frac{R2}{120} \right) \right) + 50\mu * (R2)$$

$$18 = 1,25 + 1,25R2/120 + 50\mu R2$$

$$16,75 = 0,010416R2 + 50\mu R2$$

$$16,75 = 10,5m * R2$$

$$R2 = 1595 \Omega \quad *Adotado um trimpot de 2K\Omega (disponível), para ajuste fino da fonte.$$

Resistor Req para 13 Vcc:

$$13 = 1,25 * \left(1 + \left(\frac{Req}{120} \right) \right) + 50\mu * (Req)$$

$$13 = 1,25 + \frac{1,25Req}{120} + 50\mu Req$$

$$11,75 = 0,010416Req + 50\mu Req$$

$$11,75 = 10,5m * Req$$

$$Req = 1119 \Omega$$

$$Logo: Req = R2_{(18)} // R2_{(13)}$$

$$1119 = \frac{1500 * R2}{1500 + R2}$$

$$1119 * (1500 + R2) = 1500 * R2$$

$$1678500 + 1119R2 = 1500R2$$

$$1678500 = 381R2$$

$$R2 = 4405 \Omega \quad *Adotado um trimpot de 5K\Omega (disponível), para ajuste fino da fonte.$$

Cálculos do regulador zenner para proteção do circuito 5 Vcc.

Diodo Zenner BZX79-B/C5V1 - 5.1 V / 1W

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I _F	continuous forward current		–	250	mA
I _{ZSM}	non-repetitive peak reverse current	t _p = 100 μs; square wave; T _j = 25 °C prior to surge	see Tables 1 and 2		A
P _{tot}	total power dissipation	T _{amb} = 50 °C; note 1	–	400	mW
		T _{amb} = 50 °C; note 2	–	500	mW
P _{ZSM}	non-repetitive peak reverse power dissipation	t _p = 100 μs; square wave; T _j = 25 °C prior to surge; see Fig.3	–	40	W
T _{stg}	storage temperature		–65	+200	°C
T _j	junction temperature		–65	+200	°C

Table 1 Per type, BZX79-B/C2V4 to BZX79-B/C24
T_j = 25 °C unless otherwise specified.

BZX79- Bxxx Cxxx	WORKING VOLTAGE V _Z (V) at I _{Ztest} = 5 mA				DIFFERENTIAL RESISTANCE r _{diff} (Ω)				TEMP. COEFF. S _Z (mV/K) at I _{Ztest} = 5 mA (see Figs 5 and 6)			DIODE CAP. C _d (pF) at f = 1 MHz; V _R = 0 V	NON-REPETITIVE PEAK REVERSE CURRENT I _{ZSM} (A) at t _p = 100 μs; T _{amb} = 25 °C
	Tol. ±2% (B)		Tol. approx. ±5% (C)		at I _{Ztest} = 1 mA		at I _{Ztest} = 5 mA		MIN.	TYP.	MAX.	MAX.	MAX.
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	TYP.	MAX.	TYP.	MAX.					
2V4	2.35	2.45	2.2	2.6	275	600	70	100	-3.5	-1.6	0	450	6.0
2V7	2.65	2.75	2.5	2.9	300	600	75	100	-3.5	-2.0	0	450	6.0
3V0	2.94	3.06	2.8	3.2	325	600	80	95	-3.5	-2.1	0	450	6.0
3V3	3.23	3.37	3.1	3.5	350	600	85	95	-3.5	-2.4	0	450	6.0
3V6	3.53	3.67	3.4	3.8	375	600	85	90	-3.5	-2.4	0	450	6.0
3V9	3.82	3.98	3.7	4.1	400	600	85	90	-3.5	-2.5	0	450	6.0
4V3	4.21	4.39	4.0	4.6	410	600	80	90	-3.5	-2.5	0	450	6.0
4V7	4.61	4.79	4.4	5.0	425	500	50	80	-3.5	-1.4	0.2	300	6.0
5V1	5.00	5.20	4.8	5.4	400	480	40	60	-2.7	-0.8	1.2	300	6.0
5V6	5.49	5.71	5.2	6.0	80	400	15	40	-2.0	1.2	2.5	300	6.0
6V2	6.08	6.32	5.8	6.6	40	150	6	10	0.4	2.3	3.7	200	6.0

Fonte: Datasheet diodos zenner BZX79-C5V1PH

Resistor Zenner

2002 Feb 27

4

Voltage regulator diodes

$$I_L = 1,2 \text{ A}$$

$$I_{z\max} = 250 \text{ mA}$$

$$R_L = \frac{V_L}{I_L} = \frac{5,1}{1,2} = 4,25 \ \Omega$$

$$V_Z = \frac{R_L \cdot V_{in\max}}{R_L + R_Z}$$

$$5,1 = \frac{4,25 \cdot 24}{4,25 + R_Z}$$

$$R_Z = \frac{80,325}{5,1} = 15,75 \ \Omega \quad \text{*Adotado resistor comercial de } 15 \ \Omega$$

ANEXO E – Fluxograma do Código de Programação

