
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ELETRÔNICA DO HUMANÓIDE

Relatório Final

Orientador: [Prof. Dr. Flavio Tonidandel](#)

Data: 21/3/2011 20:43

Candidato: [Eduardo Garcia](#)

Curso: Engenharia Elétrica

Nº de Matrícula: 12.105.285-6

Projeto: Futebol de Robôs

RESUMO

O presente trabalho constitui o relatório final do desenvolvimento do hardware do humanóide da FEI. A construção do robô está sendo delineada sob os requerimentos para participação da liga de humanóides da competição de robôs conhecida como RoboCup. Além disso, alguns recursos adicionais serão incorporados para permitir, por exemplo, interação com humanos e outras notáveis habilidades que possam agregar valores ao presente objeto de pesquisa. Conclusões de estudos na área, comparativos e demais produtos desta análise estão aqui expostos, bem como a definição dos componentes do projeto acompanhados de suas devidas justificativas.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1. Objetivo	5
1.2. Justificativa.....	6
1.3. Metodologia	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. A RoboCup.....	7
2.2. A Liga de Humanóides	8
2.3. Regras	8
2.3.1. Regras gerais.....	9
2.3.2. Regras pertinentes à eletrônica	9
2.4. Comparativo dos times classificados para a RoboCup 2009	10
2.5. Conversores Tipo Buck (ou Step Down)	12
2.6. Amplificadores.....	13
3. O Projeto.....	16
3.1. Arquitetura de Processamento	16
3.2. CPU.....	17
3.2.1. Instalação do Sistema Operacional.....	21
3.2.2. Placas Mini-PCI.....	21

3.2.3.	Controle dos GPIOs.....	22
3.2.4.	Biblioteca Código Aberto RoBoio	23
3.3.	Motor	24
3.3.1.	Conexão entre os servomotores	26
3.3.2.	Protocolo de comunicação	27
3.4.	Sensores	29
3.4.1.	Bússola Eletrônica	30
3.4.2.	Acelerômetro	33
3.4.3.	Giroscópio.....	34
3.5.	Câmera.....	35
3.6.	Bateria.....	36
4.	A Placa de Navegação	37
4.1.	Software CAD.....	40
4.2.	Circuitos	42
4.2.1.	Conversores de tensão.....	42
4.2.2.	Amplificador de Áudio	47
4.2.3.	Buffer dos sensores de pressão	48
4.3.	Cabos	49
4.3.1.	Cabo dos servo motores	49
4.3.2.	Cabo de áudio PP-PN.....	49



Centro Universitário da FEI
Projeto de Iniciação Científica



4.3.3. Cabo do alto-falante	50
5. Conclusão	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
Apêndice A	1
Apêndice B	4
Apêndice C	7
Apêndice D	1
Apêndice E	5

1. INTRODUÇÃO

A idéia de robôs jogando futebol nasceu em 1992 num artigo denominado “*On Seeing Robots*” elaborado pelo professor [Alan Macworth](#)[1].

O projeto de Futebol de Robôs no Centro Universitário da FEI, intitulado RoboFEI[2], teve início em maio de 2003 com o objetivo de participar da “*II IEEE Student Latin American Robot Competition*”. Desde sua criação, tem evoluído de forma surpreendente, apresentando excelentes trabalhos entre as diversas categorias da competição. As premiações em *Simulação 2D*[3] e *Very Small*[4] devem ser mencionadas, assim como a recente e bem-sucedida estréia no campeonato mundial organizado pela RoboCup[5] em 2009 na categoria *Small-Size*[6] onde obteve a melhor classificação já alcançada por um time brasileiro na categoria.

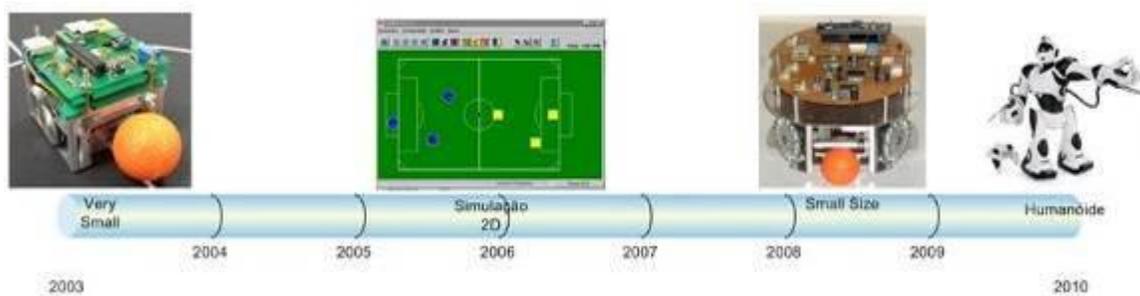


Figura 1: Linha cronológica

Promovendo continuidade ao trabalho, propõe-se aqui a criação de um projeto para participação da liga *humanóide*[7] de robôs, categoria esta que procura fazer o robô à semelhança das formas humanas.

1.1. Objetivo

O objetivo desta iniciação científica é desenvolver o hardware do robô humanóide da FEI.

O hardware do humanóide deverá conter:

- unidade de processamento compatível com os periféricos previstos;
- hardware ajustado para a categoria “*kid-size*”[\[8\]](#) que permita fácil migração para a “*teen-size*”[\[9\]](#), se solicitado;
- motores com velocidade e torque que o capacite a dançar e realizar outras atividades motoras características do ser humano;
- interface multimídia para simular rotinas de diálogo com humanos;
- sensores que auxiliem no algoritmo de controle de locomoção;
- sensores de imagem que permitam a identificação de objetos;
- saídas de uso geral para controlar diodos LED (*Light Emitting Diode*, ou Diodo Emissor de Luz), buzinas ou outros elementos que agreguem funcionalidades;
- interface de comunicação sem fio que possibilite ao humanóide interagir com outros robôs idênticos ou similares como o Aibo[\[10\]](#) ou Nao[\[11\]](#);

Atendendo a estes requerimentos, acredita-se obter uma excelente plataforma de estudo.

1.2. Justificativa

A RoboCup promove nos eventos que organiza uma grande diversidade de competições. Isso permite potencializar o estudo de forma a torná-lo o mais completo possível. Ainda assim, observa-se desde a sua criação uma dinâmica onde, com o aperfeiçoamento das equipes e domínio sobre os robôs, uma migração para categorias mais complexas em busca de novos trabalhos.

Atualmente, a categoria de humanóides é com certeza, dentre todas, a menos explorada e também a mais promissora pelos desafios oferecidos e aplicações possíveis para os resultados das pesquisas desenvolvidas. Além de tudo, com a conclusão deste trabalho, o humanóide da FEI estreará como o primeiro robô humanóide deste nível desenvolvido no Brasil.

1.3. Metodologia

A metodologia adotada para este projeto é repartida basicamente nas seguintes etapas:

- a) Estudo das regras da competição;
- b) Exame detalhado dos robôs integrantes da competição e comparativo das tecnologias empregadas;
- c) Revisão bibliográfica com pesquisa e avaliação das tecnologias mais adequadas a este projeto;
- d) Desenvolvimento do hardware do robô humanóide concomitante a testes dos periféricos segundo suas especificações e sua importância perante o robô.

e) Avaliação dos resultados, planejamento de melhorias e elaboração das conclusões.

Os passos acima descritos devem ser uniformemente distribuídos ao longo do período da iniciação científica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão bibliográfica será promovida uma breve explanação sobre a história da RoboCup, a liga de humanóides e a importância do seu estudo para o futuro com a citação de algumas tarefas, inclusive domésticas, que estes robôs poderão desempenhar no nosso lugar.

2.1. A RoboCup

A RoboCup, originalmente denominada “Iniciativa Robot World Cup”, é uma organização internacional focada em educação e pesquisa. Desde 1995 vem estimulando o desenvolvimento na linha de inteligência artificial e robótica através da organização de eventos onde o ponto alto é o campeonato de futebol onde os jogadores são robôs. Para que estas partidas sejam possíveis, um número grande de tecnologias é requerido como o design de agentes autônomos[12], multi-agentes[13], sistemas de planejamento e decisão em tempo real[14]. Está hoje dividida em RoboCup@Home[15], RoboCupRescue[16], RoboCupJunior[17] e RoboCupSoccer[18] à qual a liga de humanóides está incorporada. Existe ainda, desde 2008, a Liga Plataforma Padrão[19] disputada também por robôs humanóides, mas neste caso, padronizados a uma eletrônica reduzida do Nao da Aldebaran Robotics, estimulando as equipes à melhor implementação de estratégia.

2.2. A Liga de Humanóides

A RoboCup prevê que, através do torneio de futebol, possa apresentar até 2050 um time de futebol formado por robôs que seja capaz de competir com um time de humanos sob as regras atuais estabelecidas pela FIFA [20]. A liga de humanóides é a que mais se aproxima desta meta.

Está dividida em três classes:

- *Kid-Size*: Robôs com altura entre 30 e 60 centímetros;
- *Teen-Size*: Robôs com altura entre 1 e 1,2 metros;
- *Adult-Size*: Robôs com altura igual ou maior que 1,3 metros;

A presente iniciação científica propõe o desenvolvimento do hardware de um robô que se enquadre na classe *Kid-Size*. Andar, correr, chutar, manter equilíbrio em situações adversas, localizar-se no campo, distinguir oponentes e comunicar-se com os outros robôs do time são alguns dos desafios explorados para os quais esta eletrônica deverá estar preparada.

2.3. Regras

As regras da competição [21] foram criadas para garantir uma partida justa procurando assim despertar nos participantes a criatividade e o desenvolvimento técnico. Neste tópico será feita uma coletânea das regras consideradas mais importantes relacionadas com esta iniciação científica.

2.3.1. Regras gerais

Para a competição na liga de humanóides existem três tamanhos de campo: um destinado ao *Kid-Size*, *Teen-Size* e ao *Adult-Size*. Todos são cobertos por um tapete verde delimitado por linhas brancas que definem os limites da partida e posições para início e restabelecimento do jogo. Cada time é formado por dois jogadores de linha e um goleiro. Se algum imprevisto ocorrer, o time deve ter, no mínimo, um jogador para dar andamento ao jogo. Durante o mesmo, o juiz e seus assistentes têm autonomia total, podendo tomar decisões que zelem pelo bom andamento da partida e integridade do público espectador.

2.3.2. Regras pertinentes à eletrônica

Algumas regras dizem respeito diretamente à eletrônica e guiam a escolha dos componentes do robô. São elas:

- Sensores ativos não são permitidos, com exceção de um alto-falante restrito à reprodução de sons dentro da faixa de frequências típicas da voz humana. Sensores ativos são aqueles que interferem no ambiente emitindo luz, som ou qualquer tipo de onda eletromagnética;
- Sensores de toque, pressão ou temperatura podem ser dispostos em qualquer local já que estes são equivalentes ao tato humano;
- Os robôs devem agir de forma autônoma, sem qualquer controle externo, exceto no caso de recepção de sinais de controle do jogo ordenados pelo juiz como penalidades e lances livres. A compatibilidade com o juiz automatizado,

denominado *referee box*, é incentivada e as últimas alterações do regulamento favorecem os times que assim já a tem implementada.

- Os robôs podem se comunicar por de meio de comunicação sem fio através da rede disponibilizada pelos organizadores. A largura de banda total dos robôs de um time não deve exceder 1Mbaud.
- O número de câmeras para o robô é limitado a 2 numa configuração de visão estéreo com larga região de sobreposição.

O futebol de humanóides é uma categoria em ascensão e, diferente das demais, sofre a cada ano uma série de alterações no seu livro de regras. Seja mecânicas ou elétricas, as modificações introduzidas sempre direcionam o desenvolvimento para um robô com proporções e sentidos mais próximos dos seres humanos, tornando o seu processo de criação sempre mais complexo e interessante.

2.4. Comparativo dos times classificados para a RoboCup 2009

Este comparativo é um instrumento indispensável para balizar o desenvolvimento do hardware do humanóide e garantir que, como fruto do trabalho realizado poderemos ter no robô a eletrônica que permita funcionalidades no mínimo equiparadas às dos demais da competição.

A tabela I concentra as informações relativas aos componentes eletrônicos dos robôs.

Tabela I: Equipes da Liga de Humanóides da RoboCup 2009

NOME	MOTORES	CÂMERA	SENSORES (A=acelerômetro, G=Giroscópio, B=Bússola e P=Pressão)	CONTROLADOR PRINCIPAL	SUB CONTROLADOR
ZJUDancer	RX28	Philips SPC1300NC	A, G, P	MSM800SEL	ATMEL MEGA 128
RO-PE	RX28, RX64	A4-Tech	A, G	Coll RoadRunner LX-800	ARM
Kmutt	RX28, RX64	Logitech Pro9000	A, G, B	PCM3353 LX-800	ARM NXP LPC2138
Spirit	RX28, RX64	webcam	A, G	Celeron-M 600Mhz	DSP TMS320F2810
Cyberlords	HSR-8498HB, CS-12MG	CMUCAM3	A, G, B	ARM LPC2106	ATMEL MEGA 128
TKU	KRS4014HV, KRS2350, KRS788	CMOS 320x240	A, B, P	DSP Sunplus	FPGA Altera
SItiK KIT	RX28 e RX64	FFMV03MTC- CS	A, G, B	SONY VAIO type U	Não utilizado
aiRobot	AX12, RX28, RX64	Logitech 5000	A, B	PDA Acer N300	Cyclone II EP2C20F484C8
Fumanoid	AX28, RX64	Não informado	A, B, P	Verdex PRO XL6P	Não utilizado
Persian Gulf	AX12	HAVIMO	A	ATMEL MEGA 128	AVR
Darmstadt Dribblers	RX28 e RX64	Philips SPC1300NC	A, G	AMD Geode LX-800	SH2/7211
Robo Erectus Jr.	DX117, DX64	webcam	A, B	AMD Geode LX-800	PIC18F8720
CIT Brains	DX117, RX28, RX64	webcam	A, G	Freescall MPC5200	Renesas SH2A
WF Wolves	wCK1111K, wCK1108K	Omnivision ov2640	A	PDA Siemens n560	Blackfin BF561
UChile Road Runners	RX28	Philips SPC900NC	A, G	PDA Siemens n560	DSP TMS320F28335
NimbRo	RX64, DX117	IDS uEye UI- 1226LE	A, G	Sony VAIO UX1XN	HCS12X
VTDarwin	EX106, RX64, RX28	VT-Cam	A, B	Verdex PRO XL6P	Blackfin BF561
UofM	AX12	Celular CMOS 320x240	A	Nokia 5500	ATMEL MEGA 128
PIONEROS	RX10, RX28, RX64	CMUCAM3	A, B	SmartModulo85 5 WinXP	Não utilizado
TH-MOD	DX117, AX12	webcam	A, B	Pocket PC	TMS320C2812

Existe uma diversidade muito grande no que diz respeito às opções de processamento enquanto, em contrapartida, a escolha dos motores é praticamente baseada nas opções de servos oferecidas pela ROBOTIS na linha Dynamixel[22].

2.5. Conversores Tipo Buck (ou Step Down)

Esta é uma das topologias de conversores DC-DC[23] mais simples onde a tensão de saída é sempre menor que a tensão de entrada. A sua topologia básica está mostrada na figura 2.

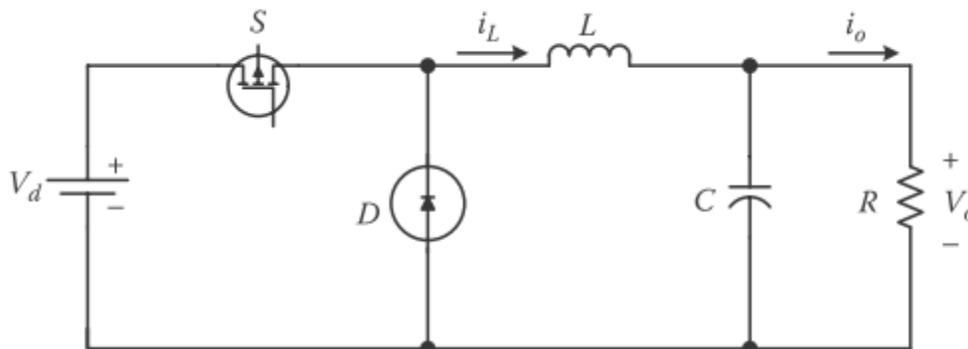


Figura 2. Topologia de um conversor Buck

Dependendo da corrente que flui pelo indutor L ele pode operar em modo contínuo, quando a corrente i_L nunca chega a zero, ou descontínuo. Ainda existe o modo de condução descontínua crítica onde o conversor opera no limiar dos dois anteriormente citados. Quando a chave S é ligada, a tensão de entrada é aplicada ao indutor L e a energia é transferida para a saída. Quando a chave é desligada, surge uma tensão reversa sobre o indutor que flui pelo diodo D que fica diretamente polarizado. Esta condição

permite que a energia armazenada no indutor seja entregue à saída. O ripple gerado por este chaveamento é amortecido pelo capacitor C. O filtro LC tem um efeito favorável sobre a entrada pulsada aplicada, produzindo uma saída DC com ripple muito reduzido.

O conversor buck aplicado neste projeto não é isolado. Sua principal vantagem sobre um conversor linear é a alta eficiência. Sua desvantagem é a necessidade de um número maior de componentes, alguns inclusive mais complexos como o indutor.

2.6. Amplificadores

Um amplificador[24] recebe um sinal de um transdutor ou um circuito qualquer e fornece uma versão aumentada deste sinal para algum dispositivo de saída ou outro estágio amplificador. O sinal de entrada de um transdutor geralmente é muito pequeno (a saída de um CD ou MP3 player) e precisa ser amplificado suficientemente para operar um dispositivo de saída (um alto-falante). Em amplificadores de pequenos sinais, os principais fatores a serem observados são a linearidade de amplificação e a magnitude do ganho. As principais características de um amplificador de sinais são: eficiência de transformação da potência, máxima quantidade de potência que o circuito é capaz de gerenciar e o casamento da impedância com o dispositivo de saída.

O método mais comum de enquadramento e designação dos amplificadores é por classes. Basicamente, classes de amplificadores representam a quantidade de sinal que é tratada e aumentada sobre um ciclo de operação para um ciclo total da entrada de sinal.

Isto quer dizer que nem todos os amplificadores atuam em todo o sinal aplicado em sua entrada.

A seguir será dada uma breve descrição sobre cada um dos tipos mais comuns de amplificadores usados atualmente.

Amplificadores Classe A: A saída do sinal varia para um completo ciclo de 360° . A figura 3.a mostra que é preciso que o ponto Q seja polarizado em um nível DC suficiente para que pelo menos metade do sinal varie na saída para cima e para baixo, sem que haja saturação em quaisquer dos níveis.

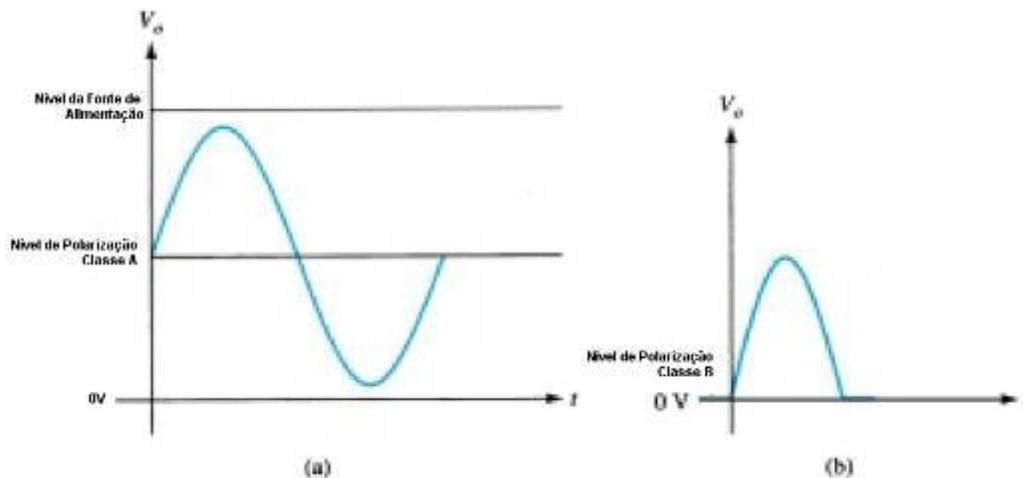


Figura 3. Níveis de polarização do amplificador classe A e B

Amplificador Classe B: O circuito do amplificador classe B fornece um sinal de saída variando sobre metade do ciclo de sinal de entrada, ou para 180° do sinal, como mostra a figura 3.b. O ponto de polarização DC para o classe B é então de 0 V, com a saída

variando do nível de polarização para metade do ciclo. Obviamente, a saída não é uma reprodução fiel do sinal de entrada se somente metade do ciclo está presente. Duas operações classe B são necessárias, uma para representação da porção positiva do sinal e outra para a parte negativa. A combinação de ambos os ciclos traduz-se num amplificador de 360° da forma de onda. Este tipo de configuração é conhecida como push-pull.

Amplificador Classe AB: Um amplificador pode ser polarizado num nível DC acima de zero e abaixo da metade da tensão de alimentação do classe A. Esta condição de polarização é referente ao amplificador classe AB. A operação deste ainda requer uma conexão push-pull para alcançar um ciclo total de saída, mas o nível DC é geralmente próximo à zero para otimização da eficiência da energia empregada. Este é o tipo de amplificador mais comumente utilizado para amplificação de sinais de áudio. Para condicionar o sinal que sai da placa CPU para o alto-falante que emitirá a voz do humanóide, um amplificador classe AB foi adotado. Sua principal característica são suas entradas diferenciais que imunizam a entrada e saída contra oscilações do circuito, principalmente os ruídos gerados pelos motores.

Amplificador Classe C: A saída do amplificador classe C é polarizada para amplificação de somente 180° do sinal e opera somente como um circuito ressonante ajustado, o qual fornece amplificação 360° para a frequência ajustada. Este circuito é somente utilizado em situações especiais como rádios e outros cenários dentro de telecomunicações.

3. O Projeto

Neste item serão apresentados os materiais em estudo, com suas respectivas especificações técnicas, resultados de testes e justificativas que motivaram a sua escolha.

3.1. Arquitetura de Processamento

Uma vez reconhecida a melhor placa de processamento para a aplicação, todos os periféricos ao seu redor podem ser desenhados.

O diagrama em blocos da figura 4 exibe a interconexão entre estes módulos.

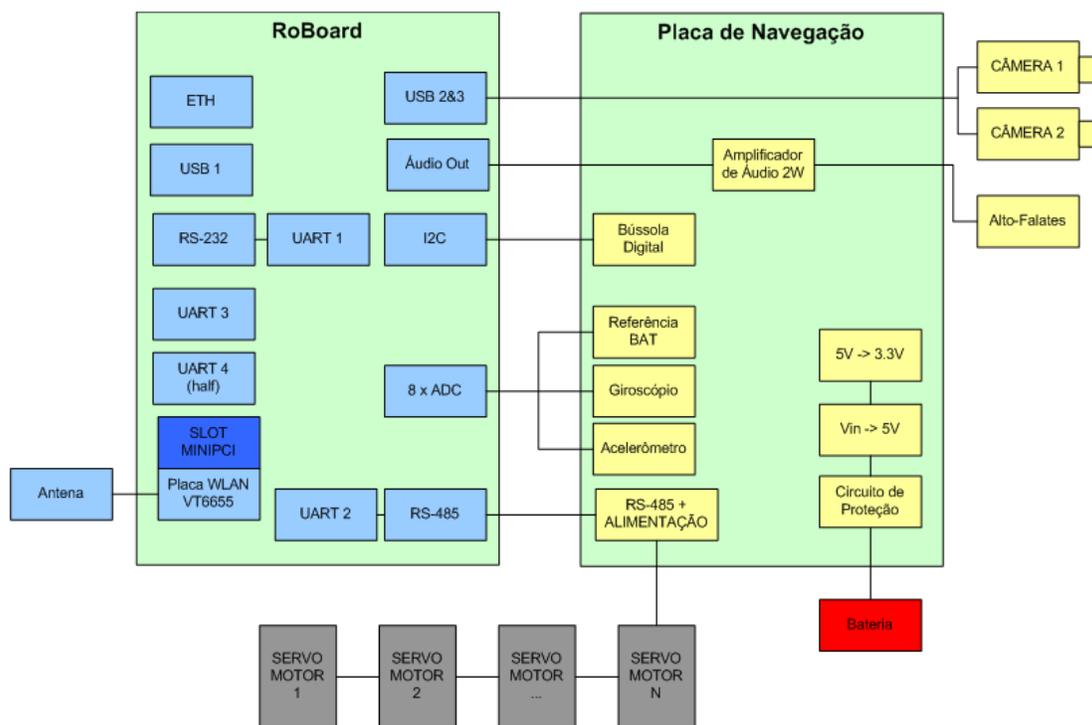


Figura 4: Diagrama em Blocos da Eletrônica do Humanóide

Algumas sutis alterações podem ser implementadas de acordo com os resultados obtidos durante o desenvolvimento do software. A adoção de uma placa de comunicação

firewire (interface serial de alta velocidade) no padrão mini-pci pode ser uma boa opção, passando a interface de rede sem fio para a última porta de comunicação USB (*Universal Serial Bus* ou Barramento Universal Serial) disponível. Esta opção não foi incorporada a princípio por dificultar a montagem do robô.

3.2. CPU

Após pesquisa, a única placa que alcançou a todos os requerimentos do projeto de forma a dispensar uma segunda unidade de controle foi a Roboard[25].

A placa Roboard é um computador baseado no processador Vortex86DX, um processador x86 de 32 bits rodando com frequência de 1GHZ e 256MB de memória RAM (*Random Access Memory* ou Memória de Acesso Aleatório). Especialmente desenhada para aplicações na área da robótica chama atenção pela sua versatilidade e riqueza de interfaces de entrada e saída.

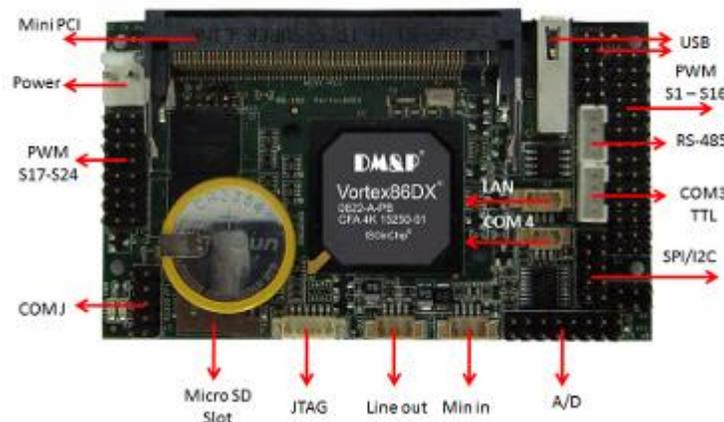


Figura 5: Placa Roboard

O processador Vortex86DX contido nesta placa utiliza tecnologia SoC (*System On-Chip*), um processo de integração de vários componentes numa única pastilha onde as principais vantagens são: o espaço economizado na placa de circuito impresso e a imunidade a ruído. Infelizmente o SoC ainda é restrito a largos volumes de produção. Construído através de processo de 90nm e baixíssimo consumo de energia garante dois itens importantes: operação *fanless* (sem ventilação) e autonomia estendida para a bateria. Possui também vários I/Os (comunicação serial, porta paralela, USB e GPIO (General Purpose IO ou Entradas e Saída de Uso Geral), BIOS, gerenciamento de energia, contador MTBF (*Mean Time Between Fail* ou tempo médio entre falhas), LoC (*Lan On Chip* ou rede integrada) e outros mais dentro de um único chip BGA.

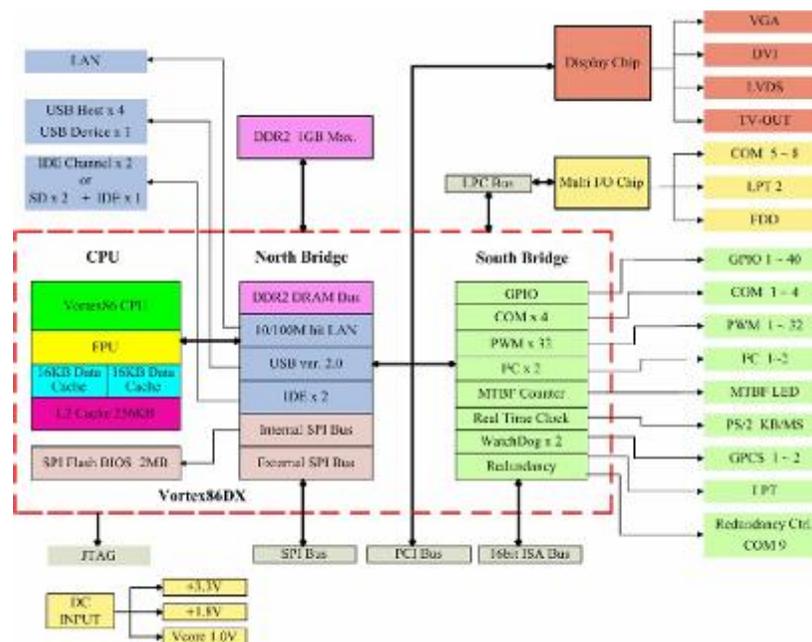


Figura 6: Diagrama em Blocos da CPU Vortex86DX

A tabela VII lista as especificações da CPU RoBoard com as suas respectivas funções dentro do humanóide.

Tabela II: Especificações da placa RoBoard

Característica	Informação	Aplicação
Modelo	RB-100	
Processador	DM&P Vortex86DX	
BIOS	AMI BIOS	
Memória	256MB DDR 2	
ADCs	Analog Devices AD7918 10-bits	Captura dos dados dos sensores e monitoramento da tensão de alimentação.
Armazenamento	SDHC de qualquer capacidade	Armazena sistema operacional, software e dados do usuário.
PWM	24 canais com resolução de 20ns.	Serão usados como entradas e saídas de uso geral.
Comunicação Assíncrona	4 UARTS de até 115200 bps.	Interface de controle dos motores através do transceptor padrão RS485 já contido na placa.
Comunicação Síncrona	I2C (1Kbps~3Mbps) e SPI (10~150Mbps Half)	Provê comunicação com a bússola digital.
Rede	10/100 bidirecional	
USB	3 x USB 2.0	Câmeras para implementação do sistema de visão.
Conector de Expansão	Mini-PCI Tipo III	Placa de vídeo, rede sem fio ou firewire se as câmeras assim exigirem.
Áudio	CM119 USB	Permitir interações de fala simulando conversa com o robô.
Consumo	+5V @ 400mA	
Dimensões	96x56 mm	
Sistemas Operacionais	DOS, Windows 98/ME, XP, CE, Linux 2.4.x e 2.6.x	

A arquitetura x86 a torna compatível com sistemas operacionais Windows (Windows XP, Windows XP Embedded ou Windows CE) e as distribuições mais tradicionais do Linux. Ambos podem ser instalados no cartão micro SD ou micro SDHC de alta capacidade. No site do fabricante existe uma versão de kernel atualizada e compilada especialmente para instalação na placa.

Tanto o Windows XP SP3 como o Linux Debian 5 foram nela instalados e ambos apresentaram bom desempenho em operações comuns como abertura de processadores de texto ou editores de imagem. Nesta etapa, para melhor organização, a placa foi montada dentro de um gabinete de plástico injetado de 190 x 112 mm.



Figura 7: Montagem em jiga da placa RoBoard

Durante operação prolongada foi notado o aquecimento do conjunto, principalmente quando usada a placa de vídeo mini-pci, mas dentro dos limites de tolerância.

3.2.1. Instalação do Sistema Operacional

A instalação de um sistema operacional na placa RoBoard não é uma tarefa trivial dependendo da quantidade de ferramentas que se tem à mão. No caso da instalação do Windows XP, foi necessária a utilização de uma técnica chamada *slipstreaming* para integração dos drivers da placa RoBoard aos discos de instalação originais, especialmente os drivers da interface IDE (*Intelligent Drive Electronics*, um barramento comumente utilizado para conexão de discos rígidos ao computador) que possibilitam ao mecanismo reconhecer o cartão micro SD como um disco rígido de gravação.

Para a instalação do Linux, é imprescindível que se instale o kernel específico para a placa pois de outra maneira o conjunto não funcionará como esperado. O kernel é a porção de software presente em todos os sistemas operacionais responsável pela conexão entre a camada de aplicativos à camada de hardware.

3.2.2. Placas Mini-PCI

Foram adquiridas duas placas para inserção no conector mini-pci disponível na RoBoard: a placa de vídeo Volari XGI e a placa de rede WLAN Via VT6655 802.11G.

A placa de vídeo possibilita a conexão direta de um monitor à placa RoBoard, facilitando o trabalho de instalação do sistema operacional e mesmo as primeiras etapas de desenvolvimento.

Já a placa de rede *wireless* (sem fio) faz parte do humanóide em sua versão final. Uma vez bem configurada, o acesso ao computador é simplificado com o uso de um software de administração remota como, por exemplo, o “Remote Desktop” do Windows.

3.2.3. Controle dos GPIOs

A placa RoBoard dispõe de 40 sinais de uso geral. Existem 24 reservados com a função de PWM especialmente projetados para controle de servo motores tradicionais como Hitec[26] ou Kondo[27]. Entretanto, no que se refere a este projeto, eles não assumirão esta função, pois os servomotores serão controlados através de dois pinos de um único barramento, o RS-485. Tal estratégia garante a oportunidade do aproveitamento destes 24 sinais como entradas e saídas de uso geral arbitrado pela aplicação. Na placa de navegação eles assim estão designados para acionamento de diodos LED, controle de circuitos integrados e leitura de sinais quando exigido.

Os GPIOs, quando configurados como saídas, podem drenar até no máximo 8mA de corrente e assumem em nível alto a tensão de 3,3 volts. Como entradas, são conectados a um resistor de interno com resistência de 75K ohms conectado ao 3,3 volts.

Os endereços para configuração da direção dos GPIOs bem como a execução de rotinas tanto de leitura como escrita de dados na porta estão representados na tabela IV. As portas de 0 a 2 estão associadas diretamente aos sinais de controle de modulação por pulso. Já as portas 3 e 4 podem não estar disponíveis para acesso dependendo dos periféricos empregados.

Tabela III: Tabela de endereços de I/Os da placa RoBoard

	PORTA 0	PORTA 1	PORTA 2	PORTA 3	PORTA 4	DESCRIÇÃO
DADO	0x78	0x79	0x7A	0x7B	0x7C	
DIREÇÃO	0x98	0x99	0x9A	0x9B	0x9C	0: entrada 1: saída

No apêndice C está listado o código usado para teste desta função. Este código é portátil, bastando um número muito reduzido de alterações para funcionar no Windows ou no Linux. No Linux, uma vez compilado e instalado, o software se comportou perfeitamente. Já no Windows XP, fez-se necessária a utilização de uma DLL chamada Inpout32.dll[28] para acesso direto aos registradores.

3.2.4. Biblioteca Código Aberto RoBoio

O fabricante da placa RoBoard disponibiliza uma biblioteca com código-fonte aberto para utilização das funções internas da placa.

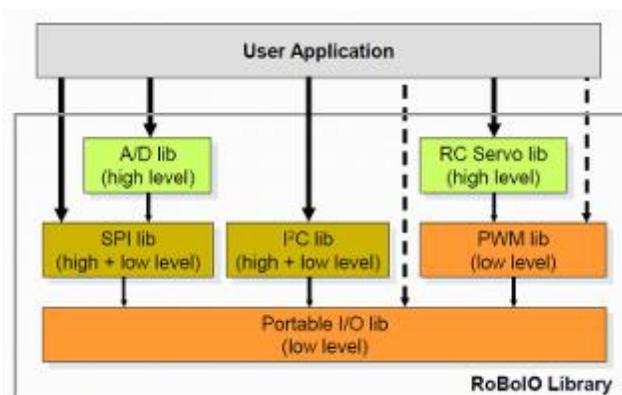


Figura 8: Arquitetura da biblioteca RoBoIO

Com binários já pré-compilados tanto para desenvolvimento no Windows como no Linux, possuem funções que possibilitam ao programador fácil acesso aos seguintes recursos: I2C¹, SPI², conversor analógico-digital e servomotores RC. No apêndice C, o código exemplo de comunicação com a bússola digital faz uso desta ferramenta.

3.3. Motor

Os motores distribuídos ao longo do corpo do humanóide deverão ter torque mínimo suficiente para que ele possa realizar as tarefas pré-estabelecidas. Trataremos aqui genericamente o número de motores como igual a 20, visto que a sua definição exata faz parte de outra iniciação científica. Sendo assim, pelo número suposto, conclui-se que a utilização de um servomotor com RS-485 é mais adequada já que o controle simultâneo de 20 motores pela CPU consumiria mais de 80% dos GPIOs. Mesmo que utilizássemos os sinais PWMs (*Pulse Width Modulator* ou modulador por largura de pulso), as expansões ficariam limitadas aos 24 disponíveis. A adoção de um servomotor também acelera significativamente o tempo de desenvolvimento do humanóide. Ao longo do corpo do robô, os esforços requeridos são diferentes, entretanto, acredita-se que utilizar o mesmo motor para todas trará facilidades práticas na compra, substituição e planejamento

¹ I2C (*Inter-Integrated Circuit*) é um barramento de comunicação multiponto normalmente utilizado para interligar um microcontrolador a periféricos como relógios de tempo real, circuitos de expansão de I/Os, etc.

² SPI (*Serial Peripheral Interface*) é o nome dado à interface de comunicação criada Motorola com função similar ao I2C, porém bidirecional e com maior capacidade de transferência.

geral do robô. O motor adquirido e testado para integração no humanóide é o RX-28[29] da Dynamixel. Sua interface de comunicação é RS-485, uma rede multiponto derivada da RS-232 e sua velocidade atinge até 1Mbps.

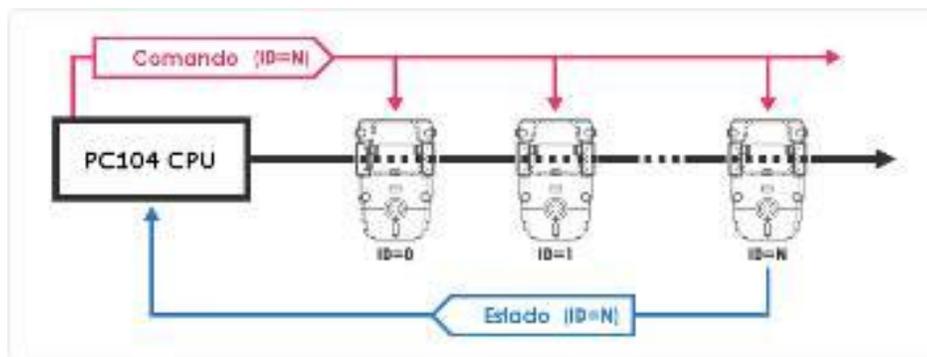


Figura 9: Representação genérica de conexão numa rede RS-485.

Através do protocolo estabelecido para os servomotores Dynamixel, é possível interagir com cada motor individualmente endereçado. Esta comunicação deve ser rápida suficiente para implementação de algoritmos de controle de equilíbrio do humanóide[30].

As principais características do motor RX-28 são:

- Controle de posição preciso com 1024 passos alcançando incríveis 0,29° de resolução;
- Tensão de alimentação entre 12 e 16V (recomendados 14,4V);
- Velocidade de 0,167s/60° @ 12V e 0.126s/60° @ 16V;
- Informação de posição, velocidade, carga, temperatura e tensão de alimentação através da rede RS-485;

- Funções de alarme: quando a temperatura interna, torque ou tensão de alimentação excedem os limites configurados, um pacote é enviado informando a ocorrência;
- Operação em alta tensão e baixo consumo: por trabalhar com uma tensão mais alta do que os demais modelos (14,4V), aumenta a eficiência do sistema devido ao baixo consumo de corrente;
- Possui LED de status que informa a situação atual do servomotor;

O servomotor RX-28 contém internamente o motor MAXON RE MAX[31] fabricado pela MAXON, empresa líder mundial em sistemas de precisão e controle há 40 anos no mercado.

3.3.1. Conexão entre os servomotores

A conexão entre os servos é feita em cascata, ou seja, um motor é conectado ao próximo e assim por diante. Esta tática reduzirá o volume de cabos espalhados pelo corpo do robô. Um exemplo deste tipo de ligação pode ser visto na figura 10.

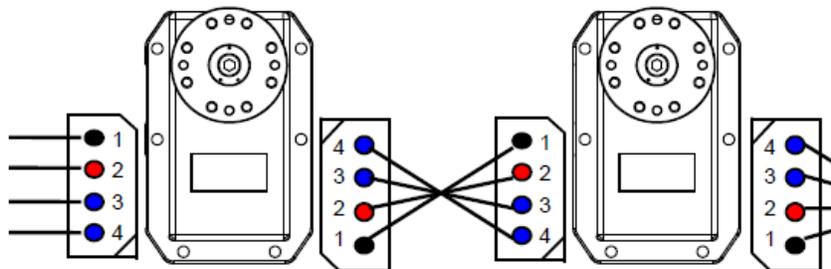


Figura 10: Conexão dos servomotores RX-28

É muito importante que se tenha muita atenção na conexão destes cabos, pois a não observação deste pode levar à queima do motor.

3.3.2. Protocolo de comunicação

O protocolo de comunicação segue padrão proprietário desenvolvido pela Dynamixel. Existem dois tipos de pacotes compreendidos: **pacotes de instrução** e **pacotes de status**. Os pacotes de instrução partem do dispositivo mestre, no caso, a placa RoBoard. Os pacotes de status são enviados em resposta a um pacote de instrução e partem do motor.

O datagrama dos pacotes trocados do dispositivo mestre para o servomotor (**pacote de instrução**) segue o padrão da figura 11:

0xFF	0xFF	ID	LEN	INST	PARAM1	PARAM...	PARAM(N)	CHK
------	------	----	-----	------	--------	----------	----------	-----

Figura 11: Pacote de instrução do protocolo Dynamixel

O significado de cada campo é como demonstrado a seguir.

0xFF 0xFF: Caracteres de inicialização do pacote;

ID: É o número de identificação do robô que o torna único e possibilita seu endereçamento entre os diversos servos do corpo do humanóide;

LEN: É o tamanho do pacote. O tamanho do pacote é calculado como o número de parâmetros (N) + 2.

INST: Define a instrução do respectivo pacote e pode assumir os valores listados na tabela V.

Tabela IV: Funções do pacote de instrução do RX-28

Valor	Nome	Função	Nº de Parâmetros
0x01	PING	Usado para ver se o controlador do servo está pronto para receber uma instrução.	0
0x02	READ DATA	Lê um dado do RX-28.	2
0x03	WRITE DATA	Escreve um dado no RX-28.	2 ou mais
0x04	REG WRITE	Similar ao WRITE DATA, mas não é executado até que o comando ACTION é enviado.	2 ou mais
0x05	ACTION	Executa movimentos enviados pelo comando REG WRITE.	0
0x06	RESET	Restaura o estado do RX-28 para o padrão de fábrica.	0
0x83	SYNC WRITE	Usado para controlar vários RX-28 ao mesmo tempo.	4 ou mais

PARAM1..N: Usado quando a instrução requer um dado auxiliar.

CHK: Usado para garantir a integridade do pacote recebido. O campo CHK é calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$CHK = \sim(ID+LEN+INST+PARAM1+PARAM\dots+PARAM(N))$$

Os **pacotes de status**, ou seja, aquele enviado pelo servomotor, tem poucas diferenças em relação ao pacote de instrução.

0xFF	0xFF	ID	LEN	<u>ERR</u>	PARM1	PARM...	PARM(N)	CHK
------	------	----	-----	------------	-------	---------	---------	-----

Figura 12: Pacote de status do protocolo Dynamixel

Como visto, a única diferença é a substituição do campo INST pelo ERR. O campo ERR contém o código do estado e pode assumir os valores da tabela VI.

Tabela V: Funções do pacote de STATUS do RX-28

Bit	Nome	Conteúdo
7	0	-
6	Instrução	Instrução enviada não pertence à lista prevista.
5	Sobrecarga	Corrente de carga não pode atuar no torque necessário.
4	Checksum	Soma verificadora do pacote recebido não está de acordo.
3	Range	Comando enviado está fora da tabela de uso.
2	Sobret temperatura	Temperatura interna do RX-28 excede o máximo seguro.
1	Limite de Ângulo	Posição solicitada excede os limites mecânicos do servo.
0	V de Entrada	Quanto à tensão aplicada está fora da região de operação.

No apêndice C está listado um código exemplo para controle destes servomotores nas condições genéricas de teste aqui tratadas, ou seja, ainda fora do corpo do humanóide.

3.4. Sensores

Os sensores dentro do robô fazem a realimentação necessária para a malha de controle de movimentação do humanóide. Por conveniência mecânica e elétrica, todos os sensores estão montados na placa de navegação onde recebem alimentação adequada e se comunicam com a placa CPU principal através de conectores tipo *header* em montagem *piggy-back*, um tipo de conexão entre placas eletrônicas onde as mesmas são montadas

em sobreposição direta. Para integração no humanóide foram adotados um acelerômetro, um giroscópio e uma bússola digital.

3.4.1. Bússola Eletrônica

Dá a orientação do robô em relação aos pólos magnéticos da Terra. Tem papel fundamental na navegação do humanóide dando sua direção absoluta. O sensor adquirido e testado para esta função é o *Devantech CMPS03* [32].

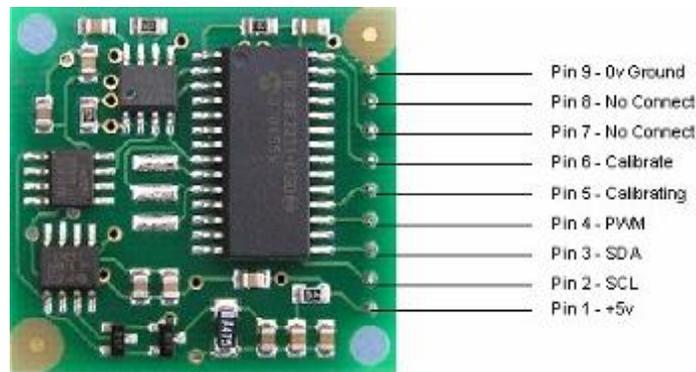


Figura 13: Bússola digital *Devantech CMPS03*

O CMPS03 é especialmente desenhado para aplicações na área da robótica como ferramenta de auxílio à navegação. Seu objetivo é produzir um número único que representa a direção na qual o robô está posicionado. É baseado no sensor de campo magnético KMZ51 da Philips, componente este sensível o suficiente para detectar o campo magnético da Terra. A tabela abaixo reúne a função dos seus nove pinos com a respectiva descrição.

Tabela VI: Funções dos sinais do CMPS03

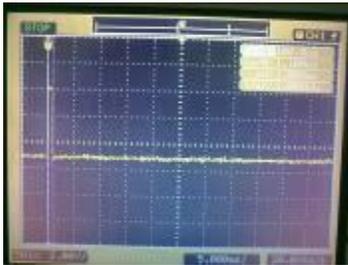
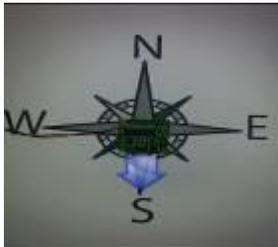
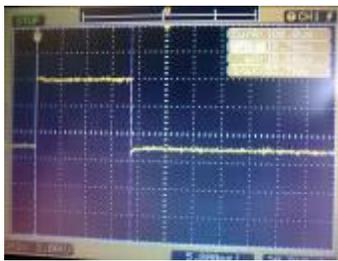
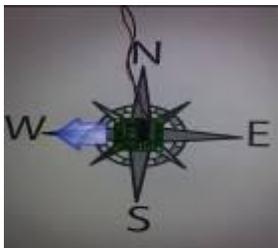
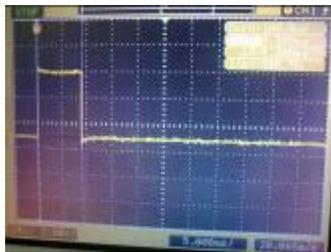
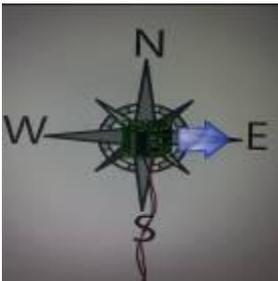
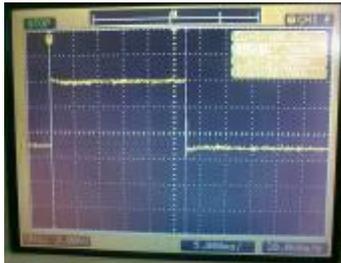
PINO	FUNÇÃO	DESCRIÇÃO
1	+5V	Alimentação da bússola digital.
2	SCL	Clock do I2C.
3	SDA	Dados do I2C.
4	PWM	Sinal PWM com ciclo de trabalho correspondente à direção da placa.
5	CALIBRATING	Indica o processo de calibração em andamento.
6	CALIBRATE	Quando em zero, inicia o processo de calibração da bússola.
7	NC	Sem uso.
8	NC	Sem uso.
9	0V GROUND	Terra da alimentação.

A bússola digital CMPS03 fornece a referência da direção através de dois sinais: PWM ou I2C. Ambos usam nível lógico TTL e podem ser conectados diretamente aos GPIOs da placa RoBoard, já que estes apesar de serem +3.3V toleram +5V. **É muito importante que nenhuma peça que contenha ferro fique próxima desta placa ou um grande montante de erro será introduzido na sua resposta.**

No apêndice C está listado o código usado para testes que gerencia o CMPS03 através do canal I2C através da biblioteca RoboIO.

A segunda opção, a obtenção da direção através da largura de pulsos, também foi testada e mostrou as respostas demonstradas na tabela VIII. Nela é possível visualizar uma largura de pulso diferente para cada posição da placa. O tempo de pulso em nível lógico 1 é a resposta em graus de deslocamento dividido por 10.

Tabela VII: Resultados de leitura obtidos bússola digital

DIREÇÃO	ENTRADA	SAÍDA	VALORES
NORTE			1 ms = 10°
SUL			18,6 ms = 186°
OESTE			9,2 ms = 92°
LESTE			27,2 ms = 272°

Os resultados foram satisfatórios e os erros, mesmo que pequenos, atribuídos em grande parte ao procedimento pouco preciso adotado já que esta não era a principal finalidade do teste.

3.4.2. Acelerômetro

O acelerômetro no humanóide terá papel fundamental no desenvolvimento dos algoritmos de locomoção. É através dele também que saberemos se o robô está em pé ou deitado com o auxílio da constante da aceleração gravitacional. É recomendado que, na implementação final do software, seja aplicado um algoritmo de proteção para evitar um falso alarme de queda do robô.

O acelerômetro adquirido para o humanóide é o MMA7260QT. Este, convenientemente, possui 3 saídas analógicas que, conectadas ao AD7918 da placa RoBoard, gerarão sinais proporcionais à aceleração nos eixos X, Y e Z. Por se tratar de um acelerômetro de 3 eixos é dispensado o uso de um inclinômetro, pois é possível determinar a inclinação do eixo do robô através destes três valores.

Para atuar em diferentes níveis de sensibilidade, o MMA7260 possui dois pinos de seleção que promovem a troca entre 1.5g, 2g, 4g e 6g. Estes pinos estão conectados a dois GPIOs da placa RoBoard. Com a sensibilidade ajustada para 6g, os valores da tabela IX foram recolhidos em teste.

O acelerômetro está montado na placa de navegação onde recebe alimentação adequada.

Tabela VIII: Resultados obtidos em teste estático com o acelerômetro

POSIÇÃO (VISÃO LATERAL)	VALORES DE TENSÃO
	X=1,65V, Y=1,65V e Z=1,85V
	X=1,65V, Y=1,45V e Z=1,65V

As saídas do MMA7260 estão acopladas na placa individualmente por filtros RC passa-baixas que garantem a estabilidade do sinal e previnem leituras enganosas induzidas por ruídos.

3.4.3. Giroscópio

Faz a medição da velocidade angular criando uma variável importantíssima na controle do humanóide. Assim como o acelerômetro, pode ser de um, dois ou três eixos. O giroscópio escolhido para avaliação é o LISY300AL.



Figura 14: Giroscópio Digital LISY300AL

Este giroscópio transmite à CPU um sinal analógico proporcional à taxa de rotação sobre o seu eixo através de uma saída analógica. Esta saída está acoplada ao A/D da placa RoBoard. Assim como os demais sensores, o LISY300AL está inserido na placa de navegação.

3.5. Câmera

A câmera tem importância fundamental dentro da construção do humanóide. É sobre as informações por ela capturadas que o módulo da estratégia tomará suas decisões de jogo. Além da detecção de objetos, as imagens obtidas serão transformadas em dados chave para implementação do algoritmo de localização do robô[33].

A câmera adotada para ser responsável pela visão do humanóide é a Point Grey Firefly MV™. O modelo escolhido é o FMVU-03MTM/C com resolução máxima de 752 x 480. Resoluções maiores provavelmente não serão processadas rápido suficiente pela CPU. Antes da compra, alguns testes serão feitos usando uma webcam convencional.



Figura 15: Câmera Industrial Firefly

A Point Grey é um fabricante especializado em produtos de imagem para sistemas de visão computacional embarcados ou não para sistemas industriais. Dentre a sua vasta

linha de produtos, um modelo que também chamou muita atenção em tempo de pesquisa foi a Bumblebee[®] 2, por acomodar dois sensores CCD num encapsulamento que favorece o estudo de sistemas de visão estéreo. Infelizmente, este modelo tem interface firewire, meio de comunicação este não suportado pelo hardware aqui sugerido. Seu custo também foi avaliado e classificado como incompatível com a aplicação.

3.6. Bateria

Para determinação da bateria, faz-se necessário primeiramente um levantamento das características da carga e consumo total do robô. Sabemos que o robô é composto majoritariamente por motores que, partindo da sua inércia, consomem uma grande quantidade de energia com apresentação de picos irregulares durante movimentação. Sendo assim, o primeiro parâmetro definido é o tipo de bateria. Pelas características descritas, a bateria de LiPO[34] foi escolhida. Uma vez determinado a química componente, partimos para a tensão de alimentação. Neste projeto, o fator determinante para escolha da tensão da bateria é o motor. Os motores RX-28 operam entre 12 e 16V, portanto, uma bateria de 4 células (14,8V) é a mais indicada. A energia da bateria é um item extremamente complexo de se determinar teoricamente pois o consumo do robô é muito dinâmico. Pode-se dizer no caso do futebol de robôs que dependerá muito da partida, da estratégia de jogo adotada e mesmo de outros fatores como temperatura ambiente. Para dimensionamento então, prevê-se sempre o pior caso.



Figura 16: Bateria Thunder Power 14,8V 2000mA/H

Para este primeiro momento, a bateria estimada possui 14,8V e 2000mA/H. A determinação final do modelo mais adequado fica por conta de dados obtidos empiricamente.

4. A Placa de Navegação

A placa de navegação é a placa que, conectada à CPU Roboard, acomoda os seguintes circuitos eletrônicos: conversores dc-dc, circuito de proteção de bateria que impede que a sua descarga abaixo do seu valor mínimo operacional, acelerômetro, bússola digital, giroscópio, entradas para os sensores de força localizados na planta dos pés do humanóide, amplificador de áudio e outros pequenos circuitos.

A montagem da placa de navegação com a placa RoBoard é simples e compacta, facilitando a sua montagem no corpo do humanóide e reduzindo a probabilidade de mau-contatos provocados normalmente por folgas de conexão entre cabos.

Para sua confecção foi utilizado o CAD Eagle^[35] versão 5.7.0 da CADSoft que possui ferramenta de elaboração de layouts e roteamento integrada. A versão limitada não

permite a criação de placas que excedam 100x80mm e possuam mais do que duas camadas.

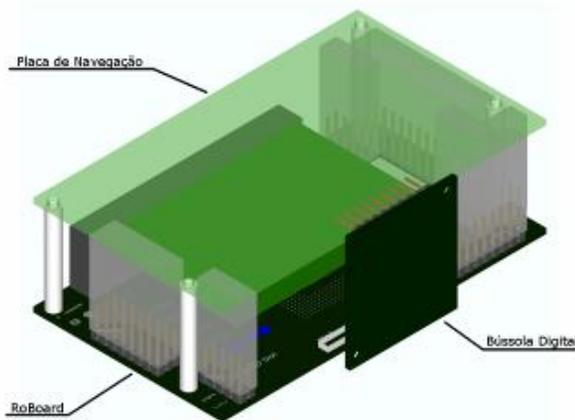


Figura 17: Montagem da Placa de Sensores

Está no canal da equipe RoboFEI no Youtube uma animação do estudo da montagem desta eletrônica no endereço <http://www.youtube.com/watch?v=4fZZZErfEgI>.



Figura 18. Placa de Navegação

A placa de circuito impresso roteada e finalizada é demonstrada no apêndice B com as camadas top, bottom, silk e de furos (drill e via) ativas. Os esquemas eletrônicos desenhados estão no apêndice A. Através de um plugin do EagleCAD denominado Eagle3d, a previsão da placa de circuito impresso em três dimensões foi gerada como mostra a figura 18. A partir do arquivo de layout da placa foram gerados arquivos gerber, arquivos específicos reconhecidos pelo maquinário usado em empresas de produção de placas de circuito impresso. A sequência usada para gerar estes arquivos foi:

1. No menu arquivo, em CAM Processor, gerar o gerber em RS_274X para os layers TOP, BOTTOM, TPLACE E BPLACE.
2. No menu arquivo, em RUN, selecionar o script drillcfg.ulp e salvar o arquivo DRL correspondente. Este arquivo contém a informação de todas as furações da placa.

3. Novamente em CAM Processor selecionar o device SM3000 apontando para o arquivo DRL gerado no passo 2 e salvar.

Estes arquivos foram enviados para produção das placas em uma empresa especializada. Dada a quantidade de componentes e o tamanho determinado para a placa, foi possível a distribuição de todos os circuitos em somente duas camadas. A montagem poderá ser feita manualmente uma vez que os componentes mesmo que SMD não possuem passo tão reduzido.

4.1. Software CAD

O software utilizado para desenho dos circuitos eletrônicos e elaboração do layout da placa de circuito impresso foi o Eagle CAD e dentre os principais critérios usados para sua escolha estão a facilidade e produtividade proporcionadas pela ferramenta, boa relação custo/benefício e larga utilização dentro da comunidade de profissionais da área.

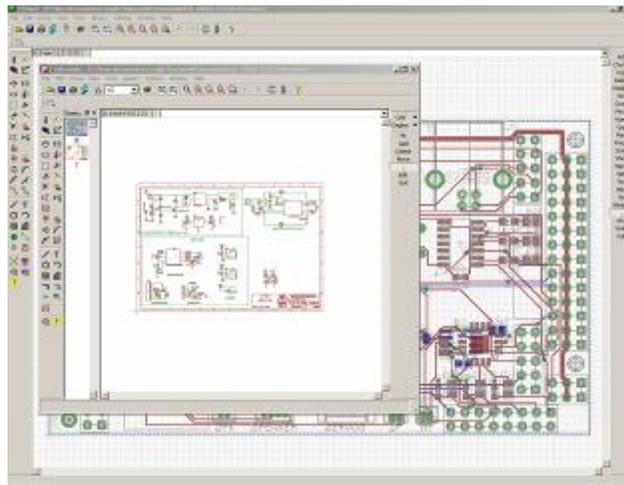


Figura 19. Tela do software Eagle CAD

O ambiente é dividido em dois módulos: Schematic e Board. No módulo schematic cada componente eletrônico é inserido e todas as ligações são feitas. Cada componente é formado por um símbolo e o seu respectivo desenho para o layout com furações necessárias, este também conhecido como *footprint*. Enquanto os componentes são inseridos no módulo Schematic os respectivos footprints são acrescentados no módulo board. Ao final da elaboração do esquema eletrônico, todos os footprints dos componentes já estavam espalhados pela janela Board. O passo seguinte foi posicionar todos os componentes de forma conveniente para o roteamento da placa, ou seja, uma vez conhecida a participação dos componentes no mesmo circuito, estes eram posicionados o mais próximo possível. Depois de posicionados o roteamento da placa foi feito com o auxílio da ferramenta de roteamento automático. Durante alguns testes concluiu-se que a placa não pode ser roteada automaticamente por completo pois existem algumas necessidades de projeto, como a proximidade e encurtamento das trilhas de capacitores de desacoplamento, que não podem ser passadas para a inteligência da ferramenta. Sendo assim, é um recurso de auxílio e não uma solução independente para criação da placa.

Além destes ainda existem outros sub-módulos como o editor de componentes onde é possível criar uma biblioteca personalizada com componentes que não vieram incluídos no pacote.

4.2. Circuitos

Nesta sessão os principais circuitos contidos na placa de navegação serão explicados bem como justificados perante outras opções presentes no mercado. O esquema eletrônico completo pode ser visto no anexo ao fim deste documento.

4.2.1. Conversores de tensão

Os conversores de tensão são necessários para permitir que sejam alimentados determinados módulos dentro do projeto que não podem receber diretamente a tensão da bateria. Por diferenças de tecnologia existem disponíveis diferentes circuitos integrados que solicitam faixas de tensões diferentes para o seu funcionamento. À partir da tensão da bateria, duas tensões são geradas internamente em cascata: +5 V e +3,3 V.

A fonte de +5V foi implementada através de um conversor buck operando em modo contínuo controlado pelo circuito integrado LM2575 [36]. Este integrado possui internamente todos os blocos necessários ao seu funcionamento, demandando apenas alguns poucos componentes internos para conclusão da montagem. Uma grande vantagem na sua escolha é a existência de outros componentes totalmente compatíveis pino a pino. Isto quer dizer que, se o projeto evoluir de forma a precisar de mais de 1A, poderemos trocar para o LM2576 e obter até 3A dedicados. O circuito que gera a alimentação de 5 V está representado na figura 20.

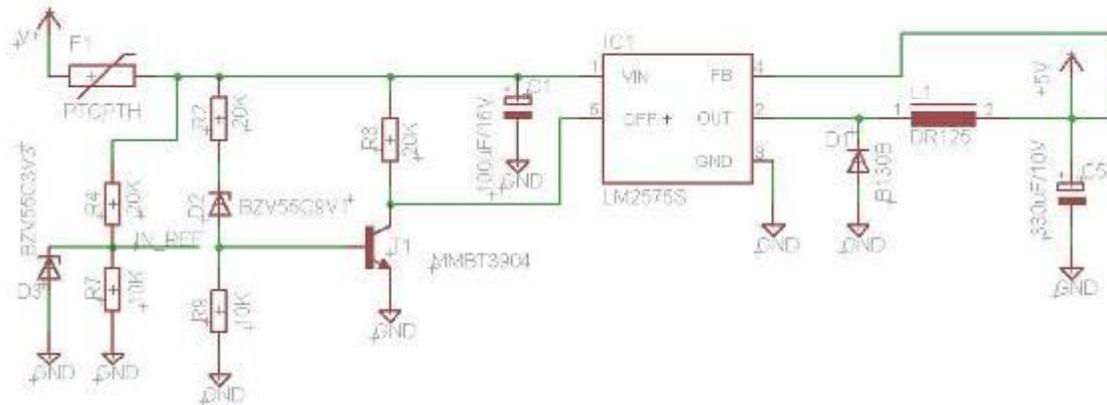


Figura 20. Conversor buck utilizando LM2575

O diodo D1 deve ser de recuperação rápida. Para esta placa utilizamos um diodo Schottky. Assim como a velocidade observamos a sua corrente direta para devida seleção. Na entrada desta fonte existe um PTC[37] promovendo a proteção contra sobrecorrente. O PTC foi escolhido em substituição aos fusíveis com a vantagem de serem resetáveis, ou seja, exceto em casos extremos ele não será danificado, apenas aumentará sua resistência interna protegendo a placa contra danos. Uma proteção adicional é criada pelo circuito formado por D2, T1 e os resistores a ele conectados. Trata-se de um controle para desligamento em caso de subtensão, ou seja, quando a tensão de entrada estiver abaixo dos níveis seguros para a bateria, o fornecimento de energia é desligado mudando o consumo de ampéres para microampéres.

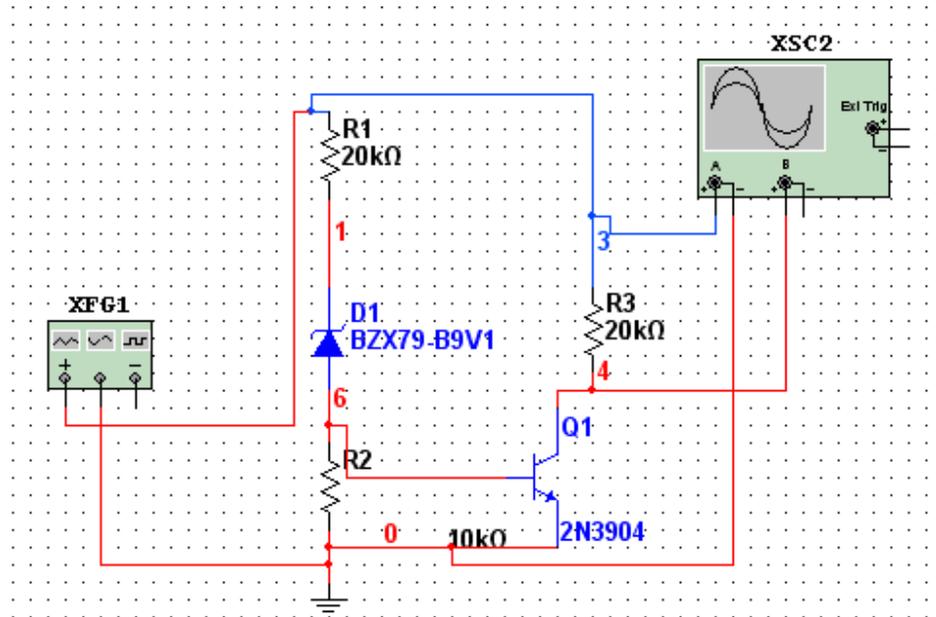


Figura 21. Simulação do circuito de proteção de bateria

O circuito protetor de bateria foi simulado separadamente como mostra a figura 22.

Os resultados obtidos estão na figura 23 e mostram que a bateria será desconectada quando atingir aproximadamente 10,3 V, um nível ainda seguro que preservará sua integridade.

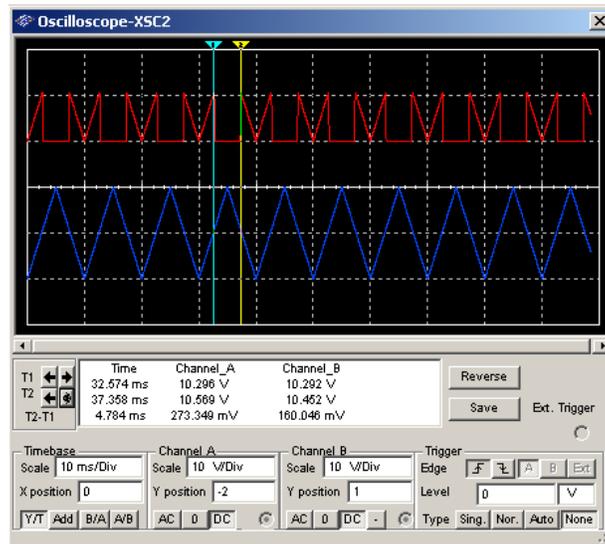


Figura 22. Entrada e saída do circuito de proteção de baterias

A entrada é a forma de onda em azul e varia entre 0 e 20 volts. A saída é a forma de onda em vermelho. Quando a entrada atinge um valor de aproximadamente 10,3 V a saída vai para zero, habilitando o controlador PWM. Quando abaixo, o sinal da entrada é idêntico ao da saída desabilitando o conversor de 5 V e operando em baixíssimo consumo, conseqüentemente, protegendo a bateria. Para esta simulação foi utilizado o software Multisim[38] versão 10 da National Instruments.

Por fim, o divisor resistivo formado por R4 e R7 gera a tensão de referência que vai para o A/D e permitirá ao firmware do humanóide prever quanto tempo de operação a ele ainda está reservado pelo nível de tensão da bateria. Assim, aliado ao circuito amplificador de áudio, ele poderá “dizer” que está sem energia e que precisa de uma recarga.

O conversor que gera 3,3 V é bem mais simples pois utiliza tecnologia de regulação de tensão linear. Para seu funcionamento bastaram somente 3 componentes. Foram percebidas algumas desvantagens como o aquecimento e baixa eficiência no processo de conversão. Entretanto, como a quantidade de corrente requerida é pequena, a influência percebida foi baixa. Para construção desta etapa foi utilizado o integrado LM1117[39] cujo circuito é mostrado na figura 23. Seu encapsulamento SOT-23 contribuiu ainda mais para a miniaturização.

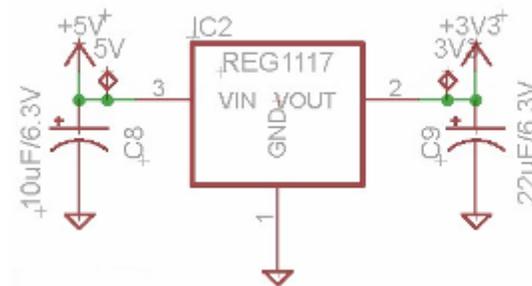


Figura 23. Conversor de 3,3 V

Apesar de ser um regulador linear, este componente se mostrou muito superior aos anteriormente testados LM7805[40] ou LM1117[41] por ter baixíssima tensão de drop-out dissipando conseqüentemente menos calor e concluindo um maior aproveitamento da energia fornecida pela entrada. Uma vez com ambos os níveis de tensão gerados, todos os componentes e placas conectadas à placa de navegação foram alimentadas.

4.2.2. Amplificador de Áudio

Foi incluído na placa de navegação o circuito integrado amplificador TPA6203A1 [42] dedicado à conexão de um alto-falante. Pensando na questão dos ruídos gerados durante a operação dos servomotores, foi adotado um amplificador classe AB com entradas e saídas diferenciais. Isto quer dizer que o sinal amplificado não é referenciado com o terra e a imunidade às interferências é aprimorada. O ganho foi ajustado pela relação $R10/R8$ e $R1/R5$ como mostra a figura 24.

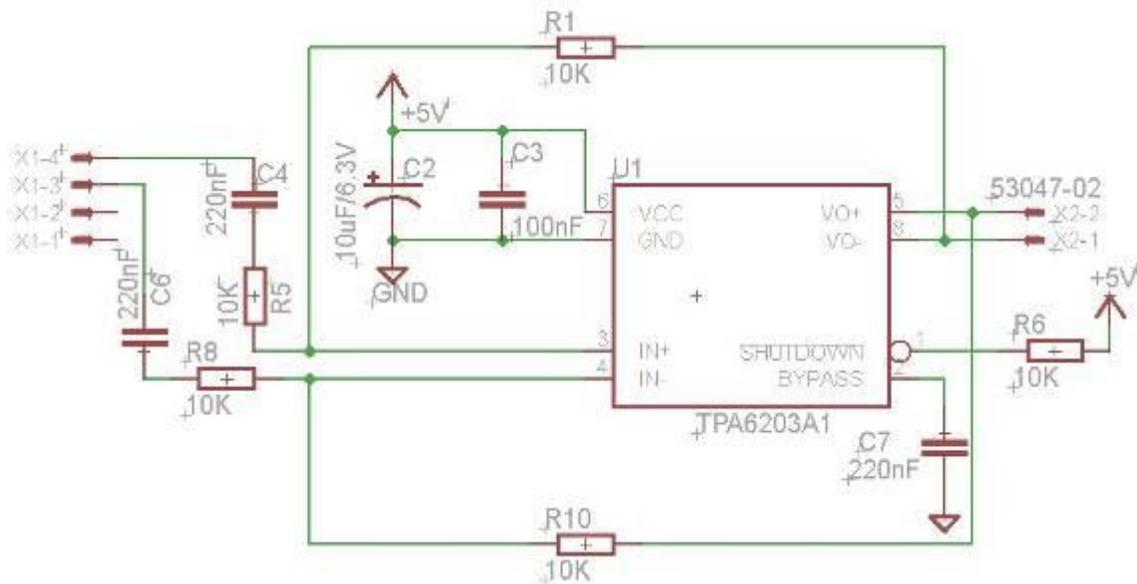


Figura 24. Circuito do amplificador de áudio

Os capacitores de entrada C4 e C6 foram necessários para isolar a componente DC presente na saída da placa RoBOARD. A utilização de capacitores de baixo ESR em C2 e C3 se mostrou muito mais eficiente e torna o conjunto mais imune à eventuais ruídos. O

consumo deste amplificador de 1,25 W projetado para alto-falantes de 8 ohms foi de, em média, 1,7 mA na ausência de sinal de entrada. Esta característica contribuirá para a autonomia do robô.

4.2.3. Buffer dos sensores de pressão

Sensores de pressão posicionados abaixo do pé do humanóide poderão gerar uma variável importantíssima para compor o algoritmo de caminhada do robô.

Para tal, dois buffers foram inseridos no circuito como interface entre os sensores e a entrada do conversor A/D. O amplificador operacional neste caso também é conhecido como seguidor de tensão ou simplesmente isolador. A característica desejada para esta configuração é a impedância de entrada que é infinita e assim não interfere no sinal medido.

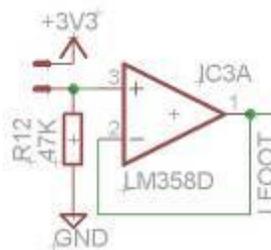


Figura 25. Seguidor de tensão dos sensores de pressão

O circuito é mostrado na figura 25. O amplificador operacional adotado foi o LM358[43]. O sensor de pressão nada mais é do que um resistor variável que fará com que a tensão na entrada não-inversora do amplificador operacional varie de acordo com a força nele aplicada.

4.3. Cabos

A documentação dos cabos do humanóide é necessária, mesmo que alguns pontos da mecânica que está sendo desenvolvida em paralelo em outra iniciação científica ainda estejam eventualmente em aberto. Todos os conectores escolhidos são do fabricante Molex®[44] pela reconhecida tradição e qualidade de documentação superior do seus produtos. A crimpagem de alguns tipos de terminais é mais convenientemente feita em empresas especializadas com equipamentos dedicados e a sua aplicação para pequenas quantidades é factível.

A seguir então serão descritos alguns cabos do humanóide. Todos os desenhos estão no anexo C.

4.3.1. Cabo dos servo motores

Este cabo é responsável pela interconexão dos servo motores com a placa de navegação que reúne os sinais do barramento de comunicação com a alimentação para os mesmos.

4.3.2. Cabo de áudio PP-PN

O cabo de áudio PP-PN leva o sinal de áudio da placa principal para a placa de navegação onde o mesmo será amplificado e condicionado à impedância do alto falante de 8 ohms.

4.3.3. Cabo do alto-falante

Este cabo conecta o alto-falante à placa de navegação. Pode utilizar blindagem com malha conectada ao terra no surgimento de uma eventual interferência eletromagnética.

5. Conclusão

A construção da eletrônica do humanóide é um projeto desafiador uma vez que alia a necessidade de alto poder de processamento dentro de uma área útil extremamente reduzida. Somado a isto temos um ambiente hostil contendo vibrações de todos os tipos. Entretanto, muitos obstáculos durante o seu desenvolvimento foram resolvidos buscando soluções na área automotiva que tradicionalmente oferece dificuldades similares com o agravante das variações de temperatura. As soluções adotadas nos circuitos eletrônicos e os tipos de conectores adotados são alguns exemplos desta filosofia. Concluimos assim como produto desta iniciação científica o desenvolvimento de uma eletrônica extremamente compacta e robusta capaz de gerenciar satisfatoriamente todos os periféricos que o humanóide necessitará. Sua integração com a mecânica não deverá oferecer dificuldades, bem como sua expansão será facilmente aplicada dada a sua flexibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A.K. MACWORTH. “*On Seeing Robots*” IN A. Basu and X. Li, “*Computer Vision: Systems, Theory and Applications*”, p. 1–13.

-
- [2]CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI. **RoboFEI** . Disponível em <<http://www.fei.edu.br/robo>> . Acesso em 07/07/2009.
- [3]XXVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. **III Robocup Brasil – Regras da Simulação 2D**. Disponível em <<http://jri.sorocaba.unesp.br/regras2d.pdf>>. Acesso em 07/07/2009.
- [4]XXVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. **III Robocup Brasil – Regras do Very Small**. Disponível em <<http://jri.sorocaba.unesp.br/verysmallsize.pdf>>. Acesso em 07/07/2009.
- [5]“*ROBOCUP OFICIAL SITE*”. Disponível em <<http://www.robocup.org>>. Acesso em 07/07/2009.
- [6]“*ROBOCUP SMALL SIZE LEAGUE*”. Disponível em <<http://small-size.informatik.uni-bremen.de/>>. Acesso em 07/07/2009.
- [7]“*ROBOCUP HUMANOID LEAGUE*”. Disponível em <<http://www.tzi.de/humanoid/bin/view/Website/WebHome>>. Acesso em 07/07/2009.
- [8]“*ROBOCUP SOCCER HUMANOID LEAGUE RULES AND SETUP FOR DE 2009 COMPETITION IN GRAZ, AUSTRIA*”, p.8. Disponível em <<http://www.tzi.de/humanoid/pub/Website/Downloads/HumanoidLeagueRules2009-03-27-final.pdf>>. Acesso em 09/07/2009.
- [9]“*ROBOCUP SOCCER HUMANOID LEAGUE RULES AND SETUP FOR DE 2009 COMPETITION IN GRAZ, AUSTRIA*”, p.9. Disponível em

-
- <<http://www.tzi.de/humanoid/pub/Website/Downloads/HumanoidLeagueRules2009-03-27-final.pdf>>. Acesso em 09/07/2009.
- [10] “*SONY AIBO EUROPE – OFFICIAL WEB SITE*”. “*AIBO Your artificial intelligent companion*”. Disponível em <<http://support.sony-europe.com/aibo/>>. Acesso em 09/07/2009.
- [11] “*ALDEBARAN ROTOTICS | HUMANOIDS ROBOTS*”. “*Nao’s World*”. Disponível em <<http://www.aldebaran-robotics.com/eng/Nao.php>>. Acesso em 09/07/2009.
- [12] **S. FRANKLIN, A. GRAESSER** - *Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents*. 1997. Intelligent Agents III, Berlin: Springer Verlag, 21-35.
- [13] **A. EGOROVA. MAAT** – *Multi Agent Authoring Tool for Programming Autonomous Mobile Robots*. 2004. Dissertação (Mestrado) - Institut für Informatik, Freie Universität, Berlin.
- [14] **J.C.LATOMBE** – *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [15] *RoboCup@HOME Main Page*. Disponível em <<http://www.ai.rug.nl/robocupathome/>>. Acesso em 10/07/2009.
- [16] *RoboCup Rescue Official Web Page*. Disponível em <<http://www.rescuesystem.org/robocuprescue/>>. Acesso em 10/07/2009.

-
- [17] *RoboCupJunior Official Site*. Disponível em <<http://rcj.sci.brooklyn.cuny.edu/>>. Acesso em 10/07/2009.
- [18] *RoboCupSoccer Official Site*. Disponível em <<http://www.robocup.org/robocup-soccer/>>. Acesso em 10/07/2009.
- [19] RoboCupSoccer – Standar League Plataform. Disponível em <<http://www.robocup.org/robocup-soccer/standard-platform/>>. Acesso em 10/07/2009.
- [20] FIFA.com – *The Laws of the game*. Disponível em <<http://www.fifa.com/worldfootball/lawsofthegame.html>>. Acesso em 10/07/2009.
- [21] *RoboCup Soccer Humanoid League Rules and Setup 2009*. O documento está disponível em <<http://www.tzi.de/humanoid/pub/Website/Downloads/HumanoidLeagueRules2009-03-27-final.pdf>>. Acesso em 10/07/2009.
- [22] ROBOTIS. *Robot Exclusive Actuator “Dynamixel”*. Disponível em <http://www.robotis.com/zbxe/dynamixel_en>. Acesso em 13/07/2009.
- [23] **EMADI, Ali; KHALIGH, Alireza; NIE, Ahong; LEE, Young Joo** – *Integrated Power Electronic Converters and Digital Control*, CRC Press, 2009.
- [24] **BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis** – *Electronic Devices and Circuit Theory*, PRENTICE HALL, 7a Edição.

-
- [25] RoBoard – The Hearth of Robotics. Roboard. Conteúdo disponível em <<http://www.roboard.com>>. Acesso em 15/11/2010.
- [26] Hitech RCD USA. *Servomotors*. Conteúdo disponível em <<http://www.hitecrd.com/servos/list>>. Acesso em 20/02/2009.
- [27] Kondo Kagaku Ltda. Servomotors . Conteúdo disponível em <<http://www.kondo-robot.com/EN/wp/?cat=14>>. Acesso em 20/02/2009.
- [28] **Axelson, Jan.** Parallel Port Complete: Programming, interfacing and using the the PC's Parallel Printer Port. Lakeview Research. 02/1997.
- [29] ROBOTIS. “*User’s Manual Dynamixel RX-28*”. Conteúdo disponível em <http://www.robotis.com/zbxe/?module=file&act=procFileDownload&file_srl=5483&sid=172a419d3282aa2e99539dd8b44ff62d>. Acesso em 13/07/2009.
- [30] **T. Furuta; T. Tawara; Y. Okumura; M. Shimizu; K. Tomiyam.** *Design and construction of a series of compact humanoid robots and development of biped walk control strategies*. Robotics and Autonomous Systems 37 (2001) 81–100.
- [31] MAXON MOTORS. *Products – Maxon RE-MAX*. Disponível em <http://www.maxonmotor.com/product_overview_details_re-max.html>. Acesso em 13/07/2009.
- [32] ROBOT ELECTRONICS. “*Compass Sensors*”. Disponível em <<http://www.robot-electronics.co.uk/acatalog/Compass.html>>. Acesso em 13/07/2009.

-
- [33] **Hauke Strasdat; Maren Bennewitz; Sven Behnke.** *RoboCup 2006: Robot Soccer World Cup X*. Multi-cue Localization for Soccer Playing Humanoid Robots p245-57.
- [34] **Bunchman, Isidor** – Batteries in a portable world, Cadex Electronics Inc, Second Edition.
- [35] CADSoft OnLine: Home of the Eagle Layout Editor. Conteúdo disponível em <<http://www.cadsoftusa.com/>>. Acesso em 20/02/2009.
- [36] National Semiconductor - *LM2575 – Simple Switcher 1A Step-Down Voltage Regulator*. Conteúdo disponível em <<http://www.national.com/mpf/LM/LM2575.html>>. Acesso em 15/11/2010.
- [37] **KASAP, S.O.** – *Principles of Electronics Materials and Devices*, Mc Graw Hill, 3º Edição, 2006.
- [38] National Instruments – *National Instruments Test and Measurement*. Conteúdo disponível em <<http://www.ni.com>>. Acesso em 03/12/2010.
- [39] National Semiconductor - *LM1117 – 800mA Low-Dropout Linear Regulator*. Conteúdo disponível em <<http://www.national.com/mpf/LM/LM1117.html>>. Acesso em 14/11/2010.
- [40] National Semiconductor – *LM7805 - 5 Volt Regulator [Discontinued]*. Conteúdo disponível em <<http://www.national.com/opf/LM/LM7805C.html>>. Acesso em 14/11/2010.

-
- [41] National Semiconductor – *LM117 – 3 Terminal Adjustable Regulator*. Conteúdo disponível em <<http://www.national.com/mpf/LM/LM117.html>>. Acesso em 14/11/2010.
- [42] Texas Instruments – *Speaker Amplifier and Modulator TPA6203A1*. Conteúdo disponível em <<http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tpa6203a1.html>>. Acesso em 14/11/2010.
- [43] National Semiconductor – *LM358 - Low Power Dual Operational Amplifier*. Conteúdo disponível em <<http://www.national.com/mpf/LM/LM358.html>>. Acesso em 14/11/2010.
- [44] Molex – *Connectors, Interconnects and cable assemblies*. Conteúdo disponível em <<http://www.molex.com>>. Acesso em 14/11/2010.



Centro Universitário da FEI
Projeto de Iniciação Científica



Apêndice A

Esquemas Eletrônicos

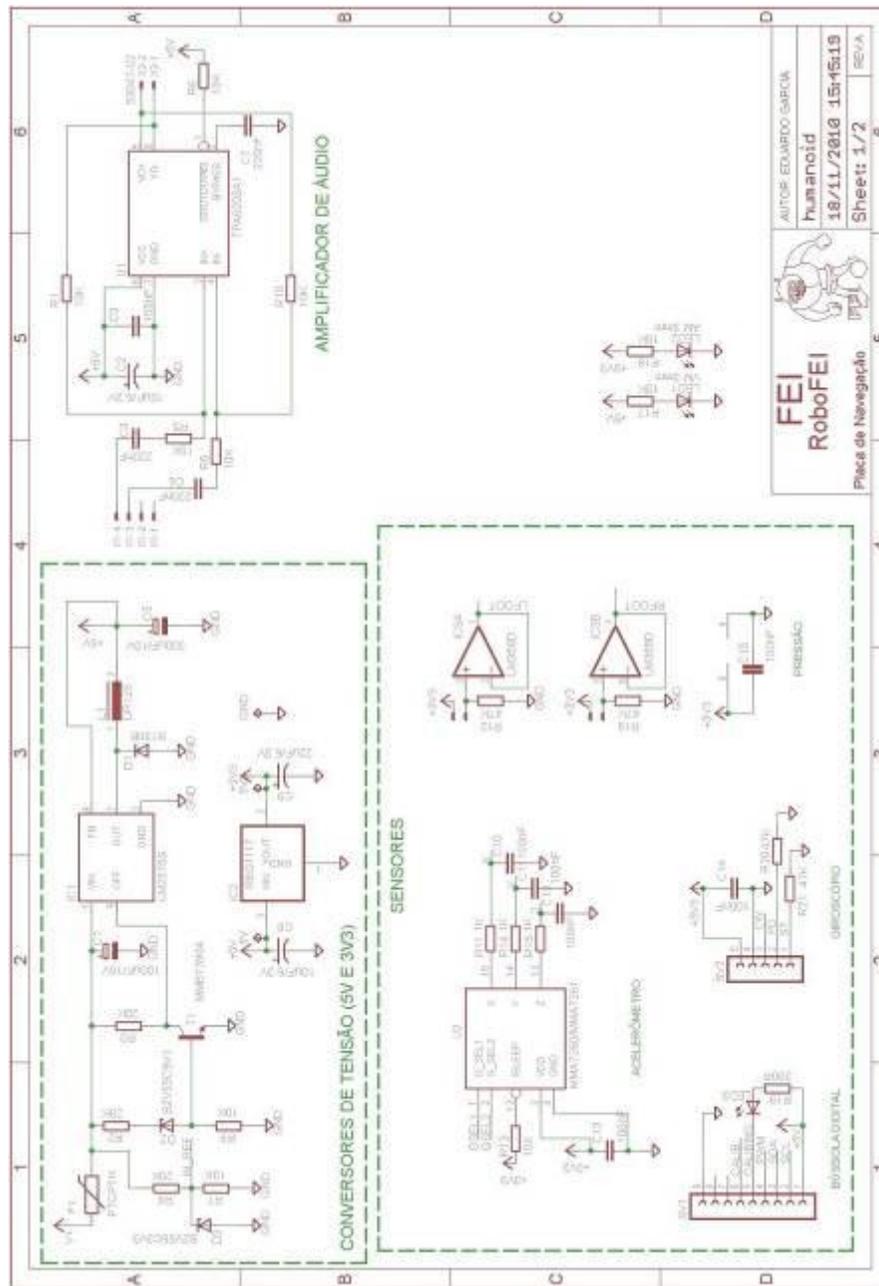


Figura 26: Esquema Eletrônico Página 1/2 da Placa de Navegação

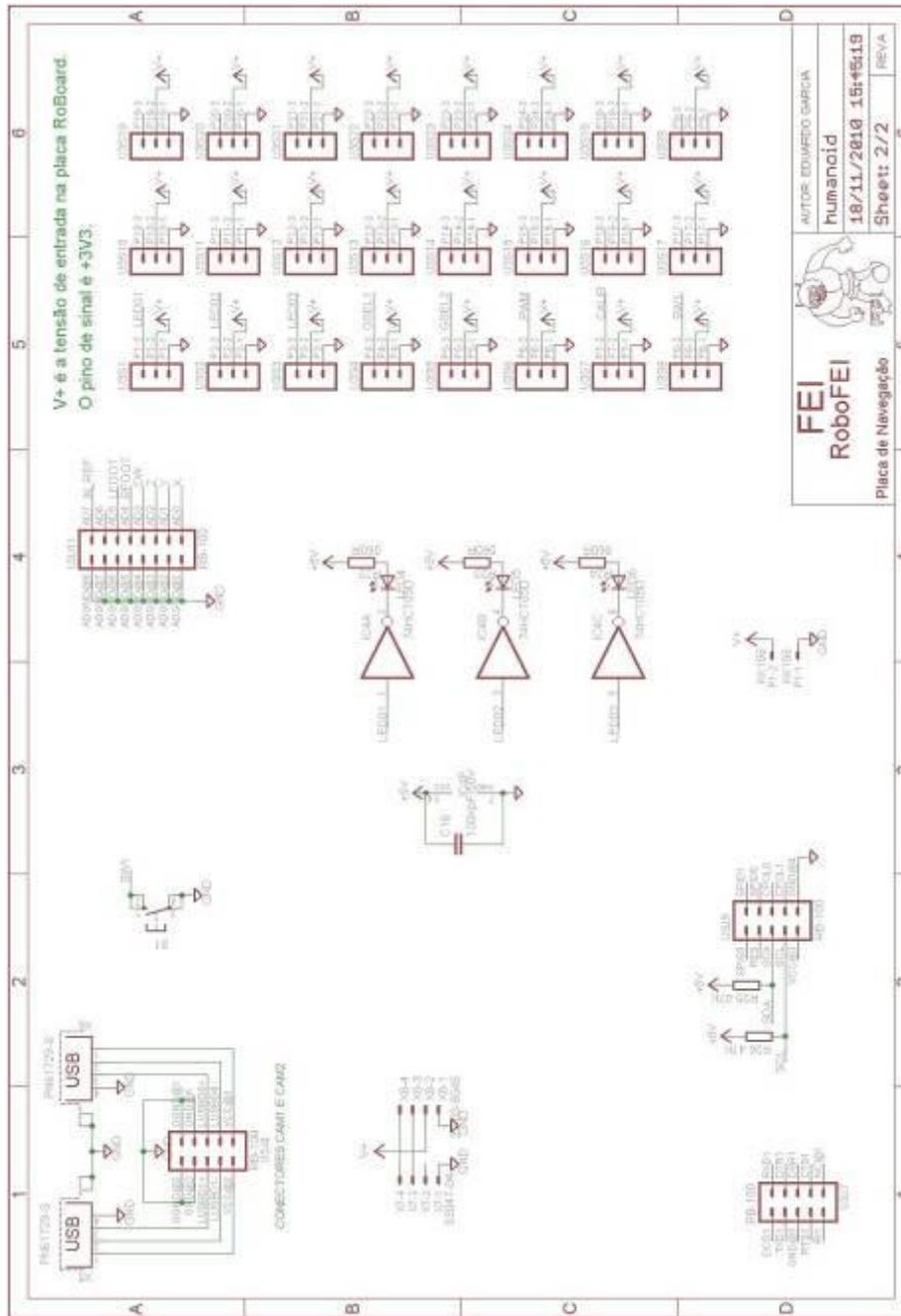


Figura 27. Esquema Eletrônico Página 2/2 da Placa de Navegação



Centro Universitário da FEI
Projeto de Iniciação Científica



Apêndice B

Layout da Placa de Circuito Impresso

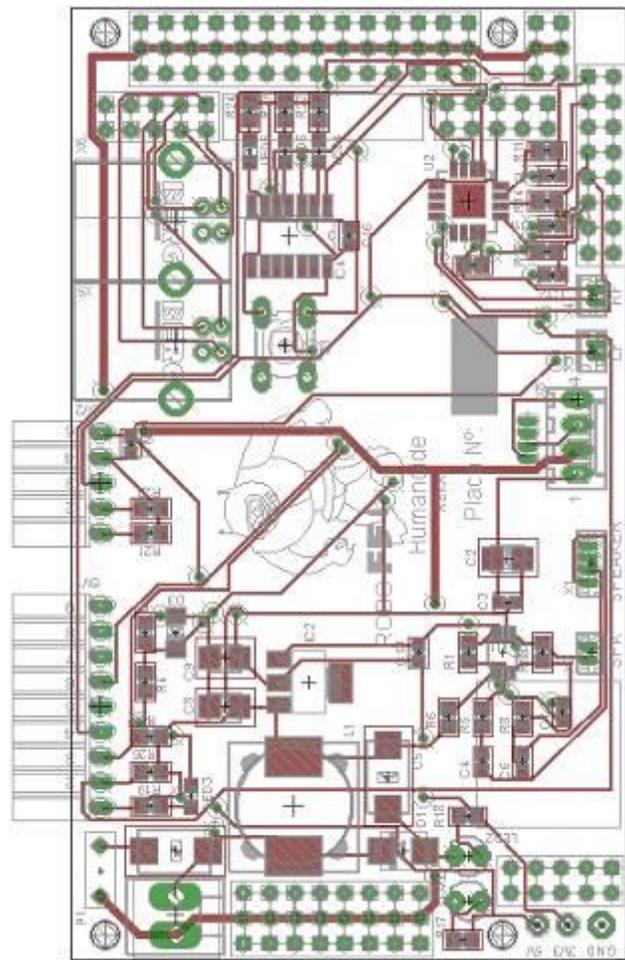


Figura 28: Layer Top da Placa de Navegação

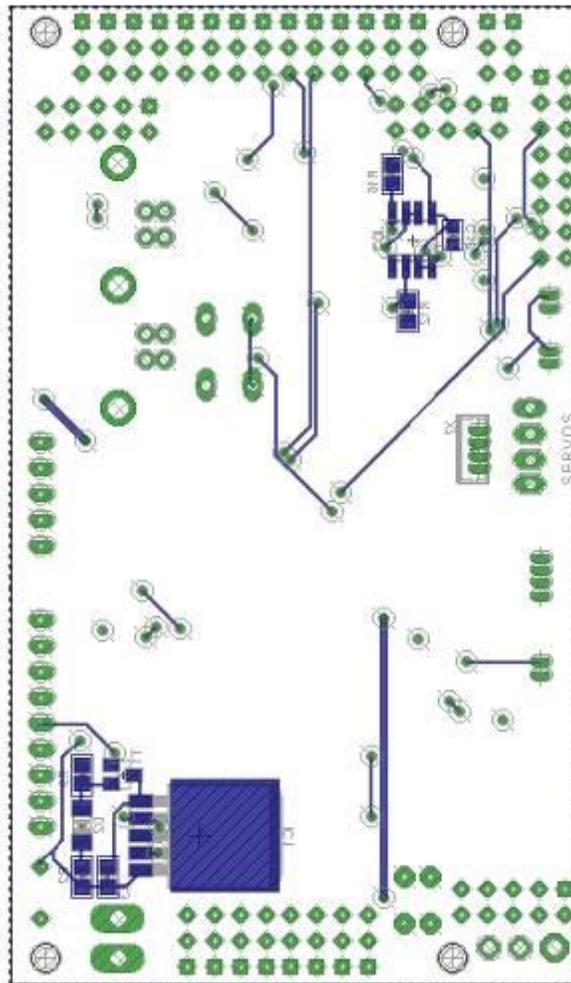


Figura 29: Layer Bottom da Placa de Navegação



Centro Universitário da FEI
Projeto de Iniciação Científica



Apêndice C

Códigos-fonte exemplo

```
/******  
*  
* Código de teste para controle dos GPIOs da placa RoBoard  
*  
*****/  
  
#include <stdio.h>  
  
void main(void) {  
    /* configura a porta 0 como entrada */  
    outportb(0x98, 0x00);  
    /* recolhe o dado da porta 0 */  
    inportb(0x78);  
    /* configura a porta 1 como saída */  
    outportb(0x99, 0xff);  
    /* escreve o dado 0x55 na porta 1 */  
    outportb(0x79, 0x55);  
    /* configura os bits[7-4] da porta 2 como saída e [3-0] como entrada */  
    outportb(0x9a, 0xf0);  
    /* escreve um dado na porta 2 [7-4], sendo que o nibble baixo (0x0a) será ignorado */  
    outportb(0x7a, 0x5a);  
    /* lê dado da porta 2[3-0] */  
    unsigned char c = inportb(0x7a) & 0x0f;  
    /*--- se a porta 3 do GPIO está livre, o código abaixo funcionará ---*/  
    /* configura a porta 3[7-2] como saída e [1-0] como entrada */  
    outportb(0x9b, 0xfc);  
    /* escreve o dado 0xA5 na porta 2[7-2], sendo que os bits 1-0 são ignorados */  
    outportb(0x7b, 0xa5);  
    /* lê o dado da porta 3[1-0] */  
    unsigned char c = inportb(0x7b) & 0x03;  
    /*--- se a porta 4 está livre, o código abaixo funcionará ---*/  
    /* configura a porta 4 [7,5,3,1] como saída e a porta 4[6,4,2,0] como entrada */  
    outportb(0x9c, 0xaa);  
    /* escreve o dado 0xFF na porta 4, sendo que os bits 6,4,2 and 0 serão ignorados por estarem  
configurados como entradas */  
    outportb(0x7c, 0xff);  
    /* lê os dados contidos na porta 4[6,4,2,0] */  
    unsigned char c = inportb(0x7c) & 0xaa;  
}
```

```
/******  
*  
* Código de teste para controle dos motores RX-28 da Dynamixel.  
*  
*****/  
  
#include <windows.h>  
#include <stdio.h>  
  
int main () {  
    int i;  
  
    unsigned char RX28_Packet[11] = {0xff, 0xff, 0x01, 0x07, 0x03, 0x1e,  
0xff, 0x03, 0x00, 0x02, 0xd3};  
    unsigned char RX28_Return1[11+1] = {0};  
    unsigned char RX28_Return2[6+1] = {0};  
    unsigned char RX28_ReturnCorrect[6] = {0xff, 0xff, RX28_Packet[2], 0x02,  
0x00, 0xfc};  
  
    DWORD dwBytesWrite = 0;  
    DWORD dwBytesRead = 0;  
  
    HANDLE serial = CreateFile (TEXT("COM3"), GENERIC_READ | GENERIC_WRITE, 0,  
NULL, OPEN_EXISTING, 0, NULL);  
  
    /* configura baudrate, size, stopbit, paridade */  
    DCB dcbSerialParams = {0};  
    dcbSerialParams.BaudRate=CBR_115200;  
    dcbSerialParams.ByteSize=8;  
    dcbSerialParams.StopBits=ONESTOPBIT;  
    dcbSerialParams.Parity=NOPARITY;  
  
    if(!SetCommState(serial, &dcbSerialParams)) {  
        printf("Erro na configuração da porta serial.\n"); goto End;  
    }  
  
    COMMTIMEOUTS timeouts={0};  
    timeouts.ReadIntervalTimeout = MAXDWORD;  
    timeouts.ReadTotalTimeoutConstant = 500;  
    timeouts.ReadTotalTimeoutMultiplier = 20;  
    timeouts.WriteTotalTimeoutConstant = 20;  
    timeouts.WriteTotalTimeoutMultiplier = 20;  
  
    if (!SetCommTimeouts(serial, &timeouts)) {  
        printf("TIMEOUT!\n"); goto End;  
    }  
  
    // Calcula o checksum  
    RX28_Packet[10] = (~(RX28_Packet[2] + RX28_Packet[3] + RX28_Packet[4] +  
RX28_Packet[5] + RX28_Packet[6] + RX28_Packet[7] + RX28_Packet[8] +  
RX28_Packet[9]));
```

```
RX28_ReturnCorrect[5] = (~(RX28_ReturnCorrect[2] + RX28_ReturnCorrect[3] +
RX28_ReturnCorrect[4]));

// Envia o pacote de comando para o RX28
if(!WriteFile(Serial, RX28_Packet, 11, &dwBytesWrite, NULL)) {
    printf("Erro de escrita!!\n"); goto End;
}

FlushFileBuffers(Serial);

// Recebe o pacote enviado pela RoBoard
if(!ReadFile(Serial, RX28_Return1, 11, &dwBytesRead, NULL)) {
    printf("Erro de Leitura!\n"); goto End;
}

// Recebe o pacote retornado pelo RX-28
if(!ReadFile(Serial, RX28_Return2, 6, &dwBytesRead, NULL)) {
    printf("Erro de Leitura!\n"); goto End;
}

for (i=0;i<11;i++) {
    if (RX28_Return1[i] != RX28_Packet[i])
    {
        printf("Recebido um pacote de erro relativo a uma instrução
enviada pela RoBoard\n"); goto End;
    }
}

for (i=0;i<6;i++)
{
    if (RX28_Return2[i] != RX28_ReturnCorrect[i])
    {
        printf("Recebido um pacote de erro relativo a um pacote
retornado pelo RX-28\n"); goto End;
    }
    printf(" %x",RX28_Return2[i]);
}

printf("\nSucesso!!\n");

End:
    CloseHandle(Serial);
}
```

```
/******  
*  
* Código de teste para controle da bússola digital CMPS03 utilizando a biblioteca Roboio Library.  
*  
*****/  
#include <stdio.h>  
#include <conio.h>  
  
#include <roboard.h>  
  
int main(void) {  
    unsigned b1, b2;  
  
    if (i2c_Initialize(I2CIRQ_DISABLE) == false)  
    {  
        printf("Falha na inicialização do I2C (%s)!\n",  
roboio_GetErrMsg());  
        return -1;  
    }  
  
    printf("Configura velocidade do I2C para 400Kbps\n\n");  
    i2c0_SetSpeed(I2CMODE_STANDARD, 400000L);  
  
    do  
    {  
        printf("Enviando comando para CMPS03\n");  
  
        // START com o endereço 0xC0 >1 para escrever 2 bytes  
        i2c0master_StartN(0xC0, I2C_WRITE, 2);  
  
        i2c0master_SetRestart(I2C_READ, 2);  
  
        //Nota: O endereço 0xE0 contém os bits de leitura/escrita do I2C r/w,  
        // então, faz-se a divisão por dois para obter o endereço correto;  
  
        i2c0master_WriteN(1);  
        i2c0master_WriteN(0xC1);  
  
        printf("Lendo dados da bússola CMPS03...\n");  
        b1 = i2c0master_ReadN();  
        b2 = i2c0master_ReadN();  
  
        sleep(100); //espera 100ms  
  
        printf("Resultado = %u\n", b1*256 + b2);  
  
    } while (getch() != 27); //pressionar ESC para sair
```



Centro Universitário da FEI
Projeto de Iniciação Científica



```
i2c_Close();  
return 0;  
}
```



Centro Universitário da FEI
Projeto de Iniciação Científica



Apêndice D

Desenho dos Cabos

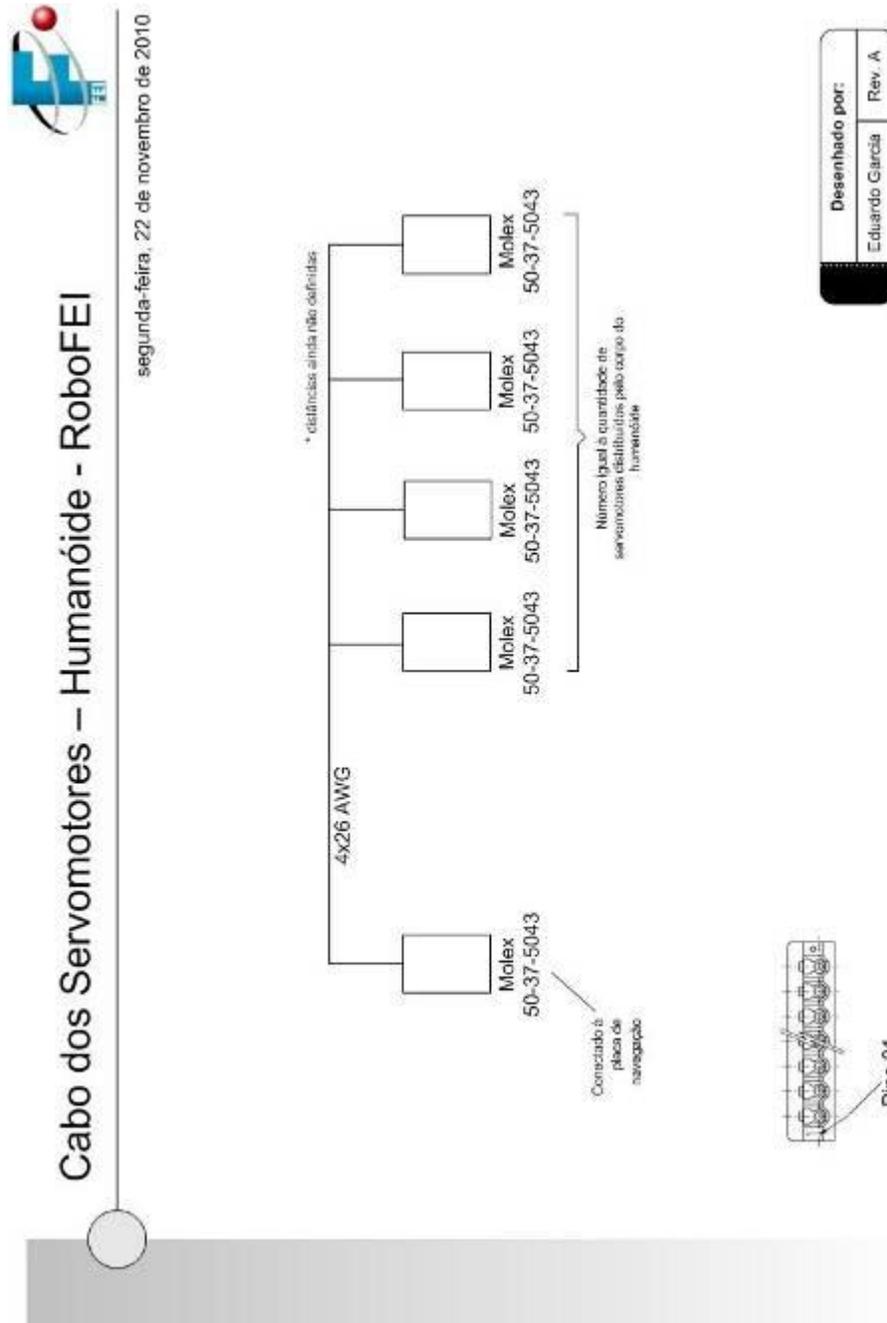


Figura 30. Cabo dos Servomotores

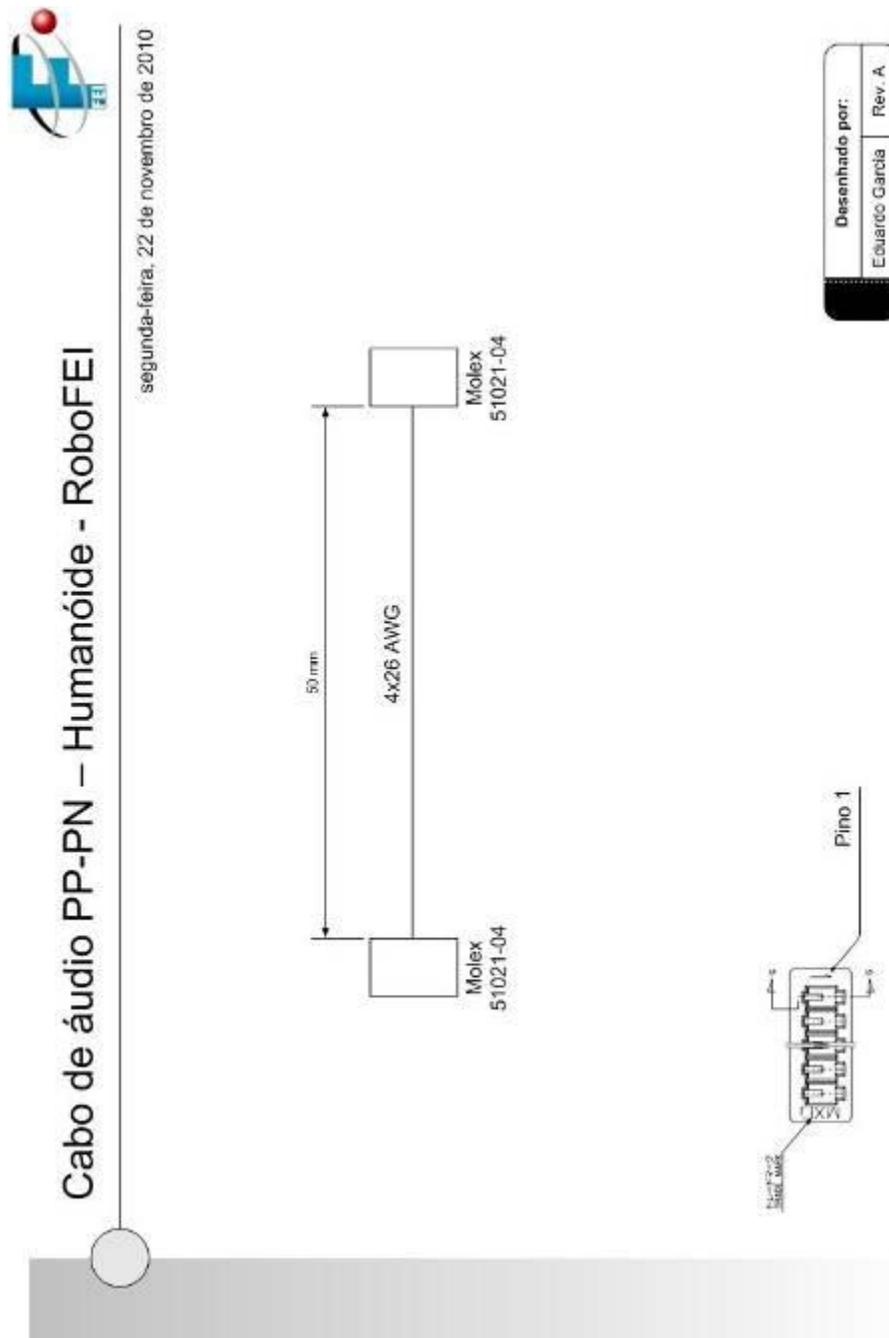


Figura 31. Cabo de áudio PP-PN

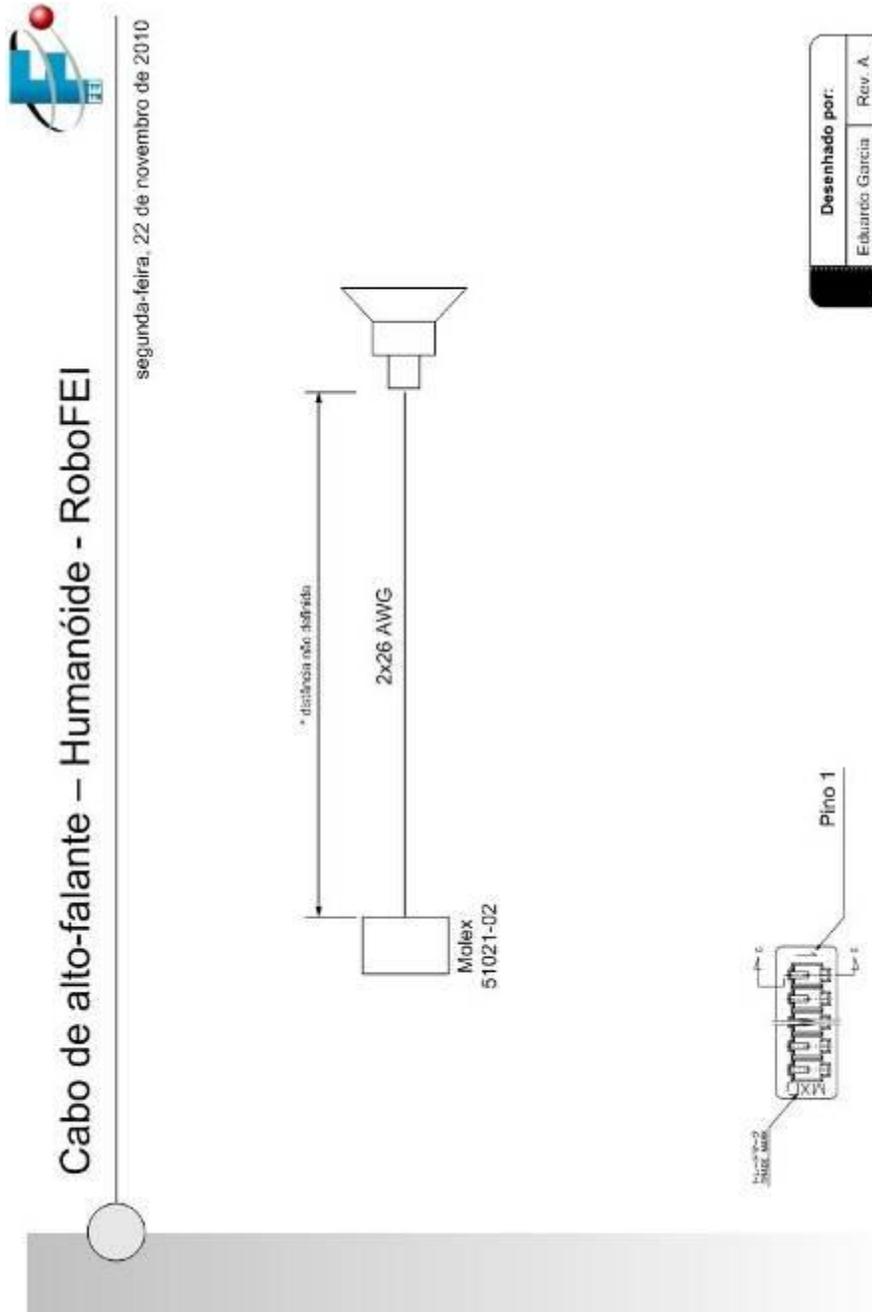


Figura 32. Cabo do alto-falante



Centro Universitário da FEI
Projeto de Iniciação Científica



Apêndice E

Lista de Componentes

Tabela 9. Lista de Componentes

FEI - ROBOFEI

LISTA DE MATERIAIS



Nome do projeto: Humanóide
Proposto por: Eduardo Garcia
Autor: Eduardo Garcia

Data: 9/11/10
Revisão: 1,1
Código da Placa:

LISTA DE MATERIAIS			
QUANTIDADE	DESCRIÇÃO/VALOR	REFERENCIAS	Código DIGIKEY
03	Resistor 1K 5% SMD 0805	R11, R14, R15	P1.0KACT-ND
10	Resistor 10K 5% SMD 0805	R1, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R13, R17, R18	541-10KACT-ND
02	Capacitor de Tântalo 10uF/6,3V 3528	C2, C8	399-4993-1-ND
06	Resistor 47K 5% SMD 0805	R12, R16, R20, R21, R25, R26	RMCF1/1047KJRCT-ND
01	Resistor 390R 5% SMD 0805	R19	P390ACT-ND
03	Resistor 560R 5% SMD 0805	R22, R23, R24	P560ACT-ND
01	Capacitor de Tântalo 22uF/6,3V 3528	C9	495-2185-1-ND
08	Capacitor Cerâmico 100KpF/50V SMD 0603	C3, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16	445-1324-1-ND
03	Capacitor Cerâmico 220KpF/50V SMD 0603	C4, C6, C7	445-3455-1-ND
01	CI 74HC05 SOIC	IC4	MM74HC05MXCT-ND
01	CI LM358D SOIC8	IC3	LM358AMXFCT-ND
01	Transistor NPN MMBT3904	Q1	MMBT3904-FDITR-ND
01	Indutor 220uH DR125	L1	513-1549-2-ND
01	Conector KK 2 vias passo 3,96mm 180g	P1	WM4651-ND
01	CI MMA7260	U2	MMA7260QT-ND
01	Microchave táctil	S1	SW401-ND
01	CI Regulador Linear LM1117-3.3	IC2	LM1117MPX-3.3CT-ND
01	CI Amplificador TPA6203A1	U1	296-19604-1-ND
02	Conector Receptáculo USB 2.0	X5, X6	609-1039-ND
01	Conector Alojamento 1x9 90g passo 2,54mm	SV1	S5484-ND
01	Conector Alojamento 1x5 90g passo 2,54mm	SV2	A26408-ND
03	Conector Molex Picoblade 2 vias passo 1,25mm	X2, X3, X4	WM1731-ND
02	Conector Molex Picoblade 4 vias passo 1,25mm	X1, X7	WM1733-ND
03	Conector Molex Picoblade 51021-02 2 vias (fêmea)	X2, X3, X4	WM1720-ND
02	Conector Molex Picoblade 51021-04 4 vias (fêmea)	X1, X7	WM1722-ND
28	Terminal para conector Molex Picoblade	X	WM1775-ND
03	Resistor 22K 5% SMD 0805	R2, R3, R4	P22.0KCT-ND
01	Capacitor de Tântalo 330uF/6,3V	C5	478-3955-1-ND
01	Capacitor de Tântalo 100uF/16V	C1	478-1723-1-ND
01	Diodo Schottky B130B SMB	D1	B130B-FDICT-ND
01	Diodo Zener BZV55C3V3 Minimelf	D3	BZV55C3V3-TPMSCT-ND
01	Diodo Zener BZV55C9V1 Minimelf	D2	BZV55C9V1-TPMSCT-ND
04	Diodo LED SMD Verde 0805	LED3, LED4, LED5, LED6	LTST-C170KGKT
01	Diodo LED Amarelo 3mm	LED2	67-1078-ND
01	Diodo LED Vermelho 3mm	LED1	P605-ND
01	CI Controlador PWM LM2575S-5.0 SMD	IC1	LM2575S-5.0-ND
01	PTC 1A/2A/10A 0ZRM0100FF1E	F1	507-1404-ND
01	Conector Molex 22-03-5045 (conexão dos servomotores)	X8	WM18888-ND
24	Conector Molex 50-37-5043 (cabo dos servomotores)		WM17405-ND
96	Terminal para conector Molex 22-03-5045		WM18889CT-ND